ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

ЖУРНАЛЪ,

основанный
зас. проф. П. А. Зиловымъ.

и издаваемый
проф. Г. Г. Де-Метцомъ.

ТОМЪ СЕДЬМОЙ

1906 г.

Министерствомъ Народнаго Просвѣщенія журналъ рекомендованъ для фундаментальныхъ и ученическихъ (старшаго возраста) библіотекъ мужскихъ гимназій и реальныхъ училищъ, для фундаментальныхъ библіотекъ женскихъ гимназій и для библіотекъ учительскихъ институтовъ и семинарій.

КІЕВЪ.
Тип. С. В. Кульженко, Пушкинская ул., д. № 4.
1906.

СОДЕРЖАНІЕ.

Обзоры.

Рѣчи, лекціи и некрологи.

Преподаваніе физики.

Хроника.

Библіографія и рецензіи.



ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1906 г. ТОМЪ 7 № 1.

Памяти Ѳ. Н. Шведова.

Г. Г. Де-Метцъ.

Послѣ непродолжительной болѣзни, отъ сердечной жабы, 12 декабря 1905 года, скончался въ Одессѣ заслуженный ординарный профессоръ Ѳеодоръ Никифоровичъ Шведовъ, на 66-мъ году жизни. Въ его лицѣ понесла большую утрату русская наука вообще и въ частности русская физика, которая въ короткое время потеряла цѣлый рядъ выдающихся ученыхъ. Въ самомъ дѣлѣ еще такъ недавно похоронили Ѳ. Ѳ. Петрушевскаго и П. П. Фанъ-деръ-Флита въ Петербургѣ, М. С. Сегеля въ Ригѣ, и вотъ опять свѣжая могила въ Одессѣ. Ветераны быстро уходятъ отъ насъ одинъ за другимъ, оставляя свои славные посты.

Ѳеодоръ Никифоровичъ Шведовъ родился 14-го февраля 1840 года въ г. Киліи Бессарабской губерніи; среднее образованіе онъ получилъ во 2-й Одесской гимназіи и въ Ришельевскомъ лицеѣ, а высшее—на физико-математическомъ факультетѣ С.-Петербургскаго университета, который онъ окончилъ со степенью кандидата въ 1862 г. Уже съ этого времени онъ вполнѣ отдался изученію физики и въ 1865 году былъ командированъ за границу для усовершенствованія въ своихъ знаніяхъ. Въ то время въ Берлинѣ представителемъ физики былъ знаменитый Магнусъ, основатель первой физической лабораторіи въ Германіи. Хотя открытая имъ лабораторія была его частною собственностью, однако, онъ допускалъ въ нее не только лучшихъ своихъ учениковъ нѣмцевъ, но и иностранцевъ. Въ числѣ послѣднихъ

и молодой Θ. Н. Шведовъ нашелъ себѣ у Магнуса самый радушный пріемъ. Обаятельная личность самого Магнуса, сообщество молодыхъ его сотрудниковъ по лабораторіи,—въ числѣ которыхъ между прочими былъ столь прославившійся впослѣдствіи своими работами Августъ Кундтъ,—дѣйствовали возбуждающе на живой и смѣлый умъ пріѣзжаго русскаго кандидата. Я не помню изъ разсказовъ самого Θ. Н. Шведова, чѣмъ именно онъ занимался въ этотъ періодъ въ лабораторіи Магнуса, но нужно думать, что магистерская его диссертація «о значеніи непроводниковъ въ электростатикѣ» была задумана и исполнена въ Берлинѣ, ибо онъ защищалъ ее въ 1868 году въ Петербургѣ вскорѣ по возвращеніи изъ своей заграничной командировки. Несомнѣнно, однако, что уже и въ ту пору онъ интересовался многимъ другимъ и многое пробовалъ, ибо однажды Магнусъ по этому поводу, какъ бы съ укоризною, сказалъ ему: «Вы еще такъ молоды и уже строите теоріи».

Такъ закончился первый періодъ его дѣятельности, періодъ подготовительный. Съ 1868-го года Θ. Н. Шведовъ оставилъ Петербургъ и перешелъ на службу въ Новороссійскій университетъ, гдѣ былъ избранъ доцентомъ физики. Но онъ недолго оставался въ этомъ званіи, такъ какъ вскорѣ представилъ свою докторскую диссертацію: «о законахъ превращенія электричества въ теплоту», за которую былъ удостоенъ званія доктора физики и былъ избранъ экстра-ординарнымъ профессоромъ, а 19 августа 1870 г. и ординарнымъ профессоромъ по каѳедрѣ физики. Итакъ, уже въ 30 лѣтъ Θ. Н. Шведовъ былъ докторъ и полноправный профессоръ и, значитъ, болѣе 35 лѣтъ прослужилъ въ званіи ординарнаго профессора!

На что же была потрачена эта долгая жизнь? Вотъ вопросъ, на который я постараюсь отвѣтить главнымъ образомъ на основаніи своего личнаго знакомства съ покойнымъ Θ. Н. Шведовымъ, длившагося послѣдніе 25 лѣтъ.

Это время Θ. Н. дѣлилъ между текущею учебною и ученою работой, читая лекціи по физикѣ и физической географіи (съ 1870 по 1881 г.), ведя занятія въ лабораторіи свои и со студентами и печатая свои теоретическія и экспериментальныя изслѣдованія. Конечно, въ теченіе такого долгаго періода характеръ чтенія лекцій не могъ оставаться неизмѣннымъ, такъ какъ

уже самая смѣна Устава 1863 г. на Уставъ 1884 г. должна была отразиться на немъ.

Я лично слушалъ его лекціи съ 1881 года согласно Уставу 1863 года, когда профессоръ излагалъ свою науку свободно, внѣ установленной программы. Чтенія его были интересны и всегда привлекали значительную аудиторію; его лекціи отличались простотою построеній, изяществомъ изложенія и оригинальностью замысла. Свои обычные курсы по физикѣ: звукъ, свѣтъ, теплота, электричество, магнитизмъ, онъ любилъ время отъ времени совершенно передѣлывать, и въ такіе моменты его изложеніе принимало особенно живой и интересный характеръ.

Ѳеодоръ Никифоровичъ любилъ опыты, хорошо ихъ показывалъ, но не злоупотреблялъ ими; будучи поклонникомъ широкихъ теоретическихъ обобщеній, онъ не любилъ дробить логическихъ построеній между опытными схемами. Я помню его экспериментальную обстановку того времени; конечно, она далеко не похожа на нынѣшнюю, ибо для всякаго проектированія на лекціи ему приходилось тогда или гнать кислородъ для друмондова свѣта, или заряжать громадное число бунзенскихъ элементовъ для вольтовой дуги. Но онъ дѣлалъ это охотно, и фонарь у него работалъ постоянно даже въ ту пору. Онъ обладалъ несомнѣнно даромъ слова и былъ хорошимъ лекторомъ; онъ охотно и часто принималъ дѣятельное участіе въ съѣздахъ, публичныхъ курсахъ, лекціяхъ и докладахъ, обставляя ихъ по большей части соотвѣтственными опытами. Одно время онъ много увлекался работою въ педагогическомъ отдѣлѣ Новороссійскаго общества естествоиспытателей и охотно, со свойственнымъ ему остроуміемъ, поучалъ своими бесѣдами и демонстраціями молодыхъ и старыхъ педагоговъ.

Но эта сторона дѣятельности не была для него главною. У него всегда были научныя идеи, которыя увлекали его гораздо сильнѣе, и надъ которыми онъ трудился, отдаваясь имъ цѣликомъ. Въ теченіе своей долгой жизни онъ изслѣдовалъ много вопросовъ и написалъ много работъ на самыя разнообразныя темы, но ни въ одной изъ нихъ онъ не выступалъ въ роли кропотливаго изслѣдователя деталей; его умъ искалъ всегда новаго и требовалъ широкаго полета мысли и оригинальнаго замысла. О разнообразіи и направленіи его научной дѣятельности лучше всего можно судить по его работамъ, которыя

можно въ общихъ чертахъ распредѣлить на слѣдующія категоріи:

I. *Космогонія.* Сюда можно отнести его оригинальныя работы и этюды о происхожденіи кометныхъ формъ, о математической ихъ теоріи, объ ихъ конфигураціи, о солнечной радіаціи, объ отталкивательной силѣ солнца, о сѣверныхъ сіяніяхъ, о происхожденіи града, о строеніи града, о роли гидродинамики въ теоріи циклоновъ.

II. *Электричество.* Сюда нужно причислить обѣ его диссертаціи, уже приведенныя раньше, и кромѣ того: объ электрическихъ лучахъ, объ ихъ диффракціи, объ одномъ термомагнитномъ явленіи и основанномъ на немъ двигателѣ; упрощенный выводъ теоремы распредѣленія электрическихъ массъ на эллипсоидѣ; распредѣленіе электричества на дискахъ машины Гольца и видоизмѣненіе послѣдней.

III. *Частичная физика.* О твердости жидкости; о сцѣпленіи жидкости и объ одной аномаліи двойного лучепреломленія въ жидкостяхъ.

IV. *Разныя статьи.* Дерево, какъ лѣтопись засухъ; распредѣленіе въ пространствѣ энергіи движущейся массы; простой выводъ основного уравненія кинетической теоріи газовъ; теорія Бьеркнеса пульсирующихъ шаровъ.

V. *Популярныя статьи.* Объ отношеніи физики къ естествознанію; о происхожденіи града; космогонія конца XIX вѣка; физика, какъ основа естествовѣдѣнія; введеніе въ методику физики.

VI. *Приборы:* для изученія поперечныхъ колебаній струнъ; винтовая помпа для кислотъ; лекціонные вѣсы; прицѣльный дальномѣръ; лекціонный гальванометръ и многіе другіе, которые остались неописанными.

VII. Литографированныя лекціи по молекулярной физикѣ, электричеству и свѣту, послѣднее изданіе которыхъ въ 2-хъ частяхъ вышло въ 1903 году.

Живя въ провинціальномъ городѣ и имѣя поэтому мало товарищей-физиковъ, которые вполнѣ интересовались бы его работами и глубоко ихъ понимали бы, Ѳ. Н. Шведовъ очень часто ѣздилъ за границу, по преимуществу въ Парижъ, гдѣ у него образовался кружокъ знакомыхъ во Французскомъ Физическомъ Обществѣ. Здѣсь онъ дѣлалъ періодически свои доклады

и здѣсь онъ черпалъ бодрость и новый запасъ силъ для своего дальнѣйшаго творчества. Однако, онъ нисколько не чуждался и русскихъ товарищей. Напротивъ того, онъ всегда принималъ активное участіе во всѣхъ съѣздахъ русскихъ естествоиспытателей и врачей, гдѣ также выступалъ со своими рѣчами, докладами и демонстраціями.

Въ послѣднее десятилѣтіе своей жизни Ѳ. Н. Шведовъ писалъ гораздо меньше, но не потому что духъ его усталъ, и мысли изсякли. Нѣтъ, онъ не разъ мнѣ жаловался на это и онъ тяготился этимъ вынужденнымъ бездѣйствіемъ мысли и пера; но онъ рѣшилъ послужить великому дѣлу переустройства всего Новороссійскаго университета въ связи съ сооруженіемъ медицинскаго факультета и отдался этому дѣлу весь. Въ это время (съ 1896 по 1903 г.) онъ былъ ректоромъ университета и предсѣдателемъ строительной комиссіи по возведенію зданій медицинскаго факультета. Вложить въ дѣло больше энергіи едва-ли возможно. Онъ ушелъ весь въ эти работы, проводилъ тамъ цѣлые дни и на скромныя средства воздвигъ такіе чертоги, которые должны навсегда сохранить его имя между выдающимися просвѣтителями не только Одессы, но и Россіи. Нужно самому видѣть всѣ эти сооруженія, нужно знать ихъ исторію, чтобы оцѣнить его преданность дѣлу, его желѣзную волю, соединенную съ бережливостью скупого и съ любовью къ прекрасному. Въ эту же пору своего зодчества онъ задумалъ созданіе химическаго и физическаго институтовъ, на подобіе германскихъ, и уже въ 1901 г. ему удалось осуществить эту счастливую мысль.

Чтобы отмѣтить размѣръ сдѣланнаго Ѳеодоромъ Никифоровичемъ для каѳедры физики въ Новороссійскомъ университетѣ, нужно сказать, что самъ онъ получилъ отъ своего предшественника и основателя каѳедры физики въ Одессѣ проф. В. И. Лапшина (съ 1865 по 1870 г.) въ наслѣдство очень мало. Достаточно замѣтить, что въ 1881 г., когда я былъ студентомъ и слушателемъ Ѳеодора Никифоровича, никакой физической лабораторіи не было; былъ только физическій кабинетъ съ консерваторомъ, а не лаборантомъ. Все помѣщеніе физическаго кабинета состояло изъ двухъ залъ для храненія инструментовъ, двухъ комнатъ для двухъ профессоровъ и еще двухъ, трехъ маленькихъ запасныхъ комнатъ, въ одной изъ которыхъ и была

въ то время устроена первая физическая лабораторія. Только съ введеніемъ Устава 1884 г. инструменты были перенесены въ маленькія комнаты и комнаты профессоровъ, а большіе залы обратили въ двѣ лабораторіи: одну для проф. Ѳ. Н. Шведова, а другую для проф. Н. А. Умова. Такимъ образомъ, все, чѣмъ теперь обладаетъ каѳедра физики въ Одессѣ, было устроено Ѳ. Н. Шведовымъ, ибо уже около 12 лѣтъ проф. Н. А. Умовъ покинулъ Одессу и перешелъ на службу въ Москву, а именно въ это-то время и выпала большая организаціонная работа, въ которой главное участіе выпало на долю Ѳ. Н. Шведова.

Много работая лично, Ѳ. Н. Шведовъ удѣлялъ не мало мѣста своимъ попеченіямъ о приготовленіи молодыхъ ученыхъ. Когда я былъ студентомъ, то подъ его руководствомъ вмѣстѣ съ другими моими товарищами принималъ участіе въ составленіи и чтеніи рефератовъ по физикѣ съ соотвѣтственными демонстраціями. Эти рефераты читались обыкновенно по вечерамъ въ физической аудиторіи въ присутствіи нѣсколькихъ профессоровъ-руководителей: Шведова, Умова, Лигина, Преображенскаго, Ярошенко и др., и многихъ студентовъ. Ѳеодоръ Никифоровичъ охотно посѣщалъ эти собранія и всегда относился къ начинающимъ докладчикамъ съ участіемъ и вниманіемъ. Тутъ онъ ближе знакомился съ ними, приближалъ ихъ къ себѣ, открывалъ для нихъ двери своего гостепріимнаго дома и намѣчалъ изъ нихъ кандидатовъ для оставленія при университетѣ. Правда, провинціальный, да въ особенности такой бѣдный спеціальными средствами, какъ въ то время Новороссійскій университетъ, могъ сдѣлать въ этомъ отношеніи немного, ибо судьба представленія обыкновенно рѣшалась въ Министерствѣ, откуда почти всегда приходилъ отказъ, за отсутствіемъ будто бы свободныхъ суммъ. Конечно, суммы эти болѣе охотно распредѣлялись между кандидатами столичныхъ университетовъ и кандидатамъ провинціальныхъ университетовъ оставалось ничего или очень мало. Но Ѳеодоръ Никифоровичъ не мирился съ такимъ положеніемъ вещей, онъ настойчиво добивался своего и иногда успѣвалъ. Изъ намѣченныхъ имъ въ разное время учениковъ его достигли профессуры: г. Цомакіонъ въ Казанскомъ университетѣ и я—въ Кіевскомъ; кромѣ того стипендіатами по каѳедрѣ физики были оставлены г.г. Августиновичъ и Геричъ; но оба

они усиленными занятіями быстро разстроили свое здоровье, и г. Августиновичъ скоро скончался, а г. Геричъ вынужденъ былъ отказаться отъ приготовленія къ профессурѣ, занять менѣе отвѣтственное положеніе лаборанта и, наконецъ, по болѣзни выйти въ отставку. Мнѣ извѣстно, что въ проектѣ было намѣчено оставленіе при университетѣ моего товарища по курсу, г. Базилевича, но и этому проекту за недостаткомъ средствъ не суждено было осуществиться.

Я не знаю, какъ относился Ѳ. Н. къ другимъ своимъ ученикамъ, но ко мнѣ онъ показалъ столько вниманія и заботливости, что я на всю жизнь остался ему признательнымъ. Онъ настойчиво посылалъ меня учиться за границу къ Кундту; въ трудныя минуты жизни онъ поддерживалъ меня нравственно; онъ былъ мнѣ учителемъ и другомъ. Когда я работалъ у Кундта, онъ интересовался моими работами, велъ со мною дѣятельную переписку и даже проѣздомъ въ Парижъ навѣстилъ меня. За все это я питалъ къ нему чувства глубокой признательности и привязанности до послѣднихъ дней его жизни.

Я думаю, что и къ остальнымъ своимъ ученикамъ онъ относился такъ же; и тутъ, вѣроятно, скоро исчезала внѣшняя холодность, и на ея мѣсто водворялась живительная, сердечная теплота; но я не могъ наблюдать этихъ отношеній, ибо былъ однимъ изъ послѣднихъ въ серіи его учениковъ.

Сдѣлавъ этотъ бѣглый очеркъ дѣятельности покойнаго Ѳеодора Никифоровича, я остановлюсь еще на его личности. Какъ я уже сказалъ раньше, онъ обладалъ твердымъ характеромъ; къ этому можно прибавить, что по своей внѣшности и рѣчи онъ казался суровымъ, замкнутымъ, неприступнымъ, холоднымъ! Мнѣ неизвѣстно, что пережилъ онъ раньше и почему его внѣшность и обыденныя отношенія къ людямъ вылились въ такую форму, но я знаю, что въ дѣйствительности онъ имѣлъ впечатлительную душу, что онъ могъ радоваться, что онъ глубоко и нѣжно любилъ свою жену, Надежду Яковлевну. Ея неожиданная болѣзнь, начавшаяся во время его случайной поѣздки въ Петербургъ на праздники Пасхи въ 1892 г., и ея скорая смерть потрясли его; я никогда не забуду того душевнаго волненія, въ которомъ онъ находился подъ впечатлѣніемъ ея смерти, и которое въ день похоронъ дошло до того, что онъ не въ состояніи былъ сорвать себѣ на память цвѣтка изъ лежавшаго

въ ея гробу вѣнка и просилъ меня достать ему эту эмблему послѣдней связи трагически разорваннаго, недавно еще счастливаго союза. Въ эти минуты твердость его покинула, и онъ искалъ къ себѣ участія и состраданія.

Но и много спустя онъ не могъ примириться съ совершившимся фактомъ и въ своей корреспонденціи со мною часто возвращался къ этой темѣ. Видно было, что онъ необыкновенно высоко цѣнилъ хорошую семейную жизнь и ставилъ ее выше всего. „Вѣдь это тема и поводъ, писалъ онъ, для непрерывнаго веселья, для полнаго счастья".

Со взрослыми Ѳеодоръ Никифоровичъ былъ холоденъ и замкнутъ, но онъ умѣлъ сближаться съ дѣтьми и любилъ ихъ. Еще при жизни Надежды Яковлевны, которая была душою Общества попеченія о больныхъ дѣтяхъ г. Одессы, онъ много ей помогалъ и посвящалъ не мало своего свободнаго времени улучшенію положенія бѣдныхъ больныхъ дѣтей. Но послѣ ея смерти онъ отдался этому благому дѣлу вдвойнѣ; ему хотѣлось помогать несчастнымъ и служить любимому дѣлу любимаго человѣка. И я помню, какъ онъ не разъ живалъ мѣсяцами на Хаджибеевскомъ лиманѣ, на Санитарной станціи, въ обществѣ больныхъ дѣтей, какъ онъ входилъ въ ихъ нужды и интересы и какъ онъ радовался ихъ радостями.

Такимъ образомъ, вся его семейная жизнь, его отношеніе къ роднымъ и друзьямъ рисуютъ его человѣкомъ любящимъ, мягкимъ, сердечнымъ. Но этихъ сторонъ своей души и своего сердца онъ не показывалъ и какъ бы скрывалъ подъ покровомъ холодности и твердости. Нужно было хорошо знать его, нужно было свободно его наблюдать, чтобы замѣтить въ немъ другого человѣка. Поэтому его отношенія къ товарищамъ по факультету и совѣту университета чаще всего были оффиціальны и холодны, а твердость и независимость его характера, рѣшительность его дѣйствій, когда онъ былъ деканомъ физико-математическаго факультета и ректоромъ университета, не рѣдко ухудшали и эти отношенія и вызывали даже неудовольствія. Но Ѳеодоръ Никифоровичъ стоически выносилъ всѣ нападки, никогда не жаловался и не оправдывался, хотя близкіе видѣли, что онъ чувствовалъ себя задѣтымъ и въ сущности страдалъ. Въ своихъ отношеніяхъ къ людямъ, въ своихъ рѣшеніяхъ по разнымъ дѣламъ онъ преслѣдовалъ такія цѣли, которыя клони-

лись, по его мнѣнію, къ пользѣ факультета или университета; поэтому онъ предпочиталъ лучше выносить удары противниковъ, нежели уступать разъ занятую позицію. Конечно, русская университетская жизнь за послѣдніе 20—30 лѣтъ стала слишкомъ сложною, чтобы даже самый опытный и безпристрастный дѣятель и наблюдатель не грѣшилъ въ своихъ единоличныхъ рѣшеніяхъ; поэтому, конечно, и у Ѳеодора Никифоровича бывали случаи промаховъ и ошибокъ, но теперь, когда онъ свелъ свои земные счеты и ушелъ отъ насъ навсегда, ему простятъ, вѣроятно, и обиженные имъ его вольныя и невольныя прегрѣшенія, ибо не ошибается только тотъ, кто ничего не дѣлаетъ, а покойный Ѳеодоръ Никифоровичъ усердно и разнообразно проработалъ всю свою долгую жизнь. Онъ оставилъ крупный слѣдъ личнаго творчества въ русской наукѣ; онъ перестроилъ свой университетъ и приготовилъ его для новой, болѣе широкой духовной жизни; онъ создалъ одинъ изъ немногихъ пока въ Россіи физическихъ институтовъ; онъ согрѣлъ своею любовью сердца обездоленныхъ дѣтей.

Кто столько сдѣлалъ въ своей жизни, тотъ жилъ не даромъ, тотъ будетъ еще долго жить въ памяти своихъ согражданъ. Теперь Одесса и ея печать молчатъ; онѣ слишкомъ подавлены тяжестью переживаемыхъ политическихъ событій; общее русское горе слишкомъ велико, чтобы смерть отдѣльнаго члена могла приковать вниманіе всего общества. Но когда это печальное время минуетъ, и когда русское общество успокоится, оно пойметъ значеніе своей новой утраты и оцѣнитъ по достоинству того, кто неутомимо сѣялъ вокругъ себя добро, свѣтъ и знаніе.

Электромагнитныя колебанія.

В. И. Романова.

Въ 1842 году американскій физикъ Генри, намагничивая стальныя полосы раздрядомъ лейденской банки, замѣтилъ, что полюсы магнита не всегда располагались въ томъ порядкѣ, въ какомъ они должны были бы расположиться согласно направленію тока. Онъ объяснилъ это тѣмъ, что между обкладками банки происходитъ колебательный разрядъ, заставляющій электричество переходить съ одной обкладки на вторую, затѣмъ со второй опять на первую и т. д., только каждый разъ все въ меньшемъ и меньшемъ количествѣ, и такъ какъ намагниченіе можетъ зависѣть отъ послѣдняго разряда, то согласно его направленію и будутъ располагаться полюсы магнита. Причина этого явленія была позже выяснена В. Томсономъ, который показалъ, что разрядъ всякаго контура, при нѣкоторомъ соотношеніи между его сопротивленіемъ, самоиндукціею и емкостью становится колебательнымъ. Если чрезъ R обозначимъ сопротивленіе какого-нибудь контура, состоящаго изъ конденсатора съ емкостью C, замкнутаго проводникомъ съ самоиндукціею L, и если $R^2 < 4L/C$, то, какъ показываетъ теорія, разрядъ конденсатора происходитъ слѣдующимъ образомъ: потенціалы обкладокъ конденсатора начинаютъ убывать до нуля, давая разрядный токъ нѣкотораго направленія, но когда потенціалы обкладокъ достигаютъ нуля, а токъ максимума силы, явленіе этимъ не оканчивается; токъ продолжаетъ итти въ томъ же направленіи, постепенно убывая до нуля и вновь заряжая обкладки конденсатора одну до положительнаго, другую до отрицательнаго потенціаловъ, только нѣсколько меньшихъ, чѣмъ первоначальные и при томъ прямо-противоположныхъ знаковъ; послѣ чего обкладки начинаютъ вновь разряжаться въ томъ же порядкѣ, давая токъ противоположнаго направленія и вновь заряжая обкладки конденсатора до потенціаловъ прежнихъ знаковъ; послѣ этого все пришло въ первоначальное состояніе, только потенціалы обкладокъ стали меньше; въ этомъ состоитъ

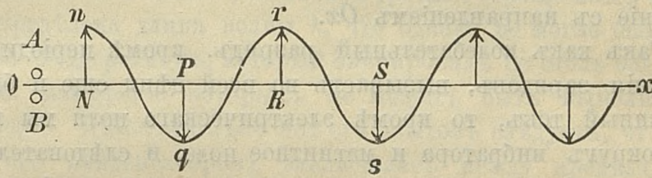
первая часть разряда, составляющая одно колебаніе. За первымъ колебаніемъ слѣдуетъ второе, затѣмъ третье и т. д., пока заряды обкладокъ не сдѣлаются равными нулю. Такой разрядъ, состоящій изъ серіи затухающихъ колебаній, и называется колебательнымъ. Если же $R^2 > 4L/C$, то получается другой типъ разряда: токъ увеличивается постепенно до максимальной величины и затѣмъ опять опускается до нуля, а потенціалы обкладокъ убываютъ, хотя и неравномѣрно, отъ начальной величины до нуля.

Цѣлый рядъ способовъ даетъ возможность убѣдиться, что при условіи $R^2 < 4L/C$, разрядъ имѣетъ колебательный характеръ. Наиболѣе нагляднып изъ этихъ способовъ есть методъ вращающагося зеркала, впервые примѣненный Феддерсеномъ для изслѣдованія искрового разряда конденсатора. Быстро вращающееся вогнутое зеркало даетъ дѣйствительное изображеніе искры, которое принимается на фотографическую бумагу. Если бы зеркало не вращалось, то всѣ разряды, соотвѣтствующіе отдѣльнымъ колебаніямъ, дали бы на бумагѣ одно слитное изображеніе, вслѣдствіе же вращенія зеркала ихъ получается цѣлый рядъ. Измѣривъ разстояніе между этими изображеніями, зная фокусное разстояніе зеркала, его разстояніе отъ искры и скорость его вращенія, Феддерсенъ могъ вычислить время или періодъ одного полнаго колебанія. Въ его опытахъ періодъ мѣнялся отъ $2{\cdot}6 \,.\, 10^{-6}$ sec. до $45{\cdot}4 \,.\, 10^{-6}$ sec. въ зависимости отъ величины самоиндукціи и емкости его проводниковъ. Тотъ же методъ вращающагося зеркала былъ примѣненъ Пальцовымъ для изслѣдованія разряда лейденской батареи, проходившаго чрезъ трубку Гейслера. Въ этомъ случаѣ можно было не только наблюдать характеръ разряда, но и направленіе тока, благодаря тому, что свѣченіе анода и катода въ гейслеровскойтрубкѣ имѣютъ различный видъ. Нетрудно объяснить себѣ эту разницу въ характерѣ разряда въ зависимости отъ соотношенія между R, L и C, если припомнимъ ту роль, которую играютъ эти величины. Какъ извѣстно, самоиндукція имѣетъ то же значеніе по отношенію къ прохожденію тока, какое инерція имѣетъ къ дѣйствію силы; самоиндукція проводника представляетъ такое же сопротивленіе всякому измѣненію силы тока, какое инерція представляетъ всякому измѣненію скорости движенія. Вслѣдствіе этого въ тотъ моментъ, когда при разрядѣ потенціалы обкладокъ падаютъ до нуля, а

токъ достигаетъ максимальной величины, онъ продолжаетъ течь дальше благодаря вліянію самоиндукціи, которая такъ же препятствуетъ измѣненію его величины, какъ инерція качающагося маятника препятствуетъ измѣненію скорости и слѣдовательно остановкѣ маятника въ моментъ прохожденія его черезъ положеніе равновѣсія и заставляетъ маятникъ отклоняться по другую сторону отвѣсной линіи. Аналогія колебательнаго разряда съ колебаніями маятника простирается еще дальше, такъ какъ на періодъ электрическихъ колебаній оказываетъ такое же вліяніе самоиндукція и величина, обратная емкости, какое на періодъ маятника оказываютъ моментъ его инерціи и сила тяжести. Чѣмъ больше моментъ инерціи маятника, тѣмъ больше періодъ его качаній; чѣмъ больше самоиндукція или емкость проводника, тѣмъ больше періодъ электрическихъ колебаній, такъ какъ величина обратная емкости играетъ ту же роль, что и сила тяжести. Наконецъ, амплитуда электрическихъ колебаній точно такъ же убываетъ вслѣдствіе перехода части энергіи на тепло Джауля, какъ качанія маятника убываютъ, благодаря расходу энергіи на треніе. Отсюда гальваническое сопротивленіе проводниковъ имѣетъ то же значеніе, какое треніе имѣетъ по отношенію къ маятнику. Если треніе очень велико, то маятникъ апе077ріодически возвращается къ своему положенію равновѣсія. То же мы имѣемъ и въ случаѣ электрическихъ колебаній, если гальваническое сопротивленіе R очень велико, имено $R^2 > 4L/C$, то колебаній нѣтъ и разрядъ происходитъ апеGріодически.

Не только лейденская банка или конденсаторъ могутъ давать колебательный разрядъ, но и всякіе два разноименно заряженные проводника, если ихъ емкость, самоиндукція и сопротивленіе удовлетворяютъ условію $R^2 < 4L/C$. Для примѣра возьмемъ разрядъ, происходящій между двумя заряженными шариками, и посмотримъ что происходитъ въ это время въ окружающемъ ихъ эѳирѣ. Заряды шариковъ образуютъ электрическое поле, дѣйствіе котораго сказывается въ томъ, что въ каждой точкѣ пространства, окружающаго шарикъ, существуютъ электрическія силы, опредѣленныя по величинѣ и направленію. Пусть A и B (фиг. 1) суть заряженные шарики и въ нѣкоторый моментъ A заряженъ положительно, B отрицательно; тогда на прямой Ox, перпендикулярной къ направленію AB и проходящей чрезъ средину между A и B, въ какой-нибудь точкѣ P электрическая

сила будетъ перпендикулярна къ направленію Ox и имѣть нѣкоторую величину Pq; по прошествіи половины колебанія, когда шарикъ A будетъ заряженъ отрицательно, а шарикъ B положительно, электрическая сила въ точкѣ P будетъ имѣть ту же величину, но противоположное направленіе, а по прошествіи цѣлаго колебанія она опять будетъ имѣть прежнее направленіе и величину. Слѣдовательно измѣненіе электрической силы за время одного колебанія состоитъ въ томъ, что электрическая



Фиг. 1.

сила отъ нѣкотораго значенія постепенно уменьшается до нуля, затѣмъ становится отрицательною, достигаетъ максимума, вновь убываетъ, переходитъ черезъ нуль и опять становится положительною, увеличивается до максимума и т. д. Такъ какъ по теоріи Максвелля электрическія и магнитныя силы передаются въ пространствѣ съ конечною скоростью, именно равною скорости свѣта, то нѣсколько спустя то же самое будетъ происходить въ точкѣ R и нѣсколько раньше происходило въ точкѣ N. Такія же точно измѣненія соотвѣтствуютъ второму, третьему и слѣдующимъ колебаніямъ. Такъ какъ электрическія силы распространяются съ конечною скоростью, то въ тотъ моментъ, когда въ точкѣ P сила направлена внизъ, въ нѣкоторой точкѣ R она будетъ направлена вверхъ и только по прошествіи половины колебанія будетъ направлена тоже внизъ. Между этими точками необходимо должна лежать точка, гдѣ электрическая сила имѣетъ промежуточное значеніе и равна нулю. Если, такимъ образомъ, для всѣхъ точекъ прямой Ox построимъ электрическія силы для какого-нибудь момента времени и соединимъ ихъ вершины, то получимъ синусоидальную линію, показывающую, что при колебательномъ разрядѣ мы имѣемъ волнообразное распредѣленіе электрической силы или электрическую волну. Разстояніе PS или NR между максимальными ординатами этой синусо-

идальной линіи называется длиною электрической волны. Для нагляднаго представленія, какимъ образомъ измѣняется электрическая сила съ теченіемъ времени по прямой *Ox*, слѣдуетъ синусоидальную линію представить себѣ движущеюся по направленію *Ox*. Въ каждый данный моментъ эта синусоидальная линія представитъ намъ распредѣленіе электрической силы по направленію *Ox*. Тоже самое будетъ происходить не только по направленію *Ox*, но и по любой прямой, только величина силы будетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ большій уголъ составитъ данное направленіе съ направленіемъ *Ox*.

Такъ какъ колебательный разрядъ, кромѣ періодическаго измѣненія зарядовъ, вызываетъ во всей цѣпи еще и быстрый перемѣнный токъ, то кромѣ электрическаго поля мы имѣемъ еще вокругъ вибратора и магнитное поле, и слѣдовательно въ каждой точкѣ поля существуетъ магнитная сила, измѣняющаяся совершенно такъ же, какъ и электрическая. Разница будетъ состоять только въ томъ, что въ тотъ моментъ, когда потенціалы шариковъ, а слѣдовательно и электрическая сила достигаютъ максимальной величины, происходитъ перемѣна въ направленіи тока, слѣдовательно въ этотъ моментъ сила тока, а также и величина магнитной силы равны нулю. Наоборотъ, когда потенціалы равны нулю, то токъ достигаетъ максимальной интенсивности, и слѣдовательно нулю электрической силы соотвѣтствуетъ максимумъ магнитной силы. Такимъ образомъ магнитныя колебанія по отношенію къ колебаніямъ электрическимъ будутъ сдвинуты на четверть волны. Собирая все сказанное вмѣстѣ, мы видимъ, что колебательный разрядъ посылаетъ во всѣ стороны распространяющіяся съ конечною скоростью электромагнитныя волны, вполнѣ подобныя волнамъ звуковымъ или водянымъ.

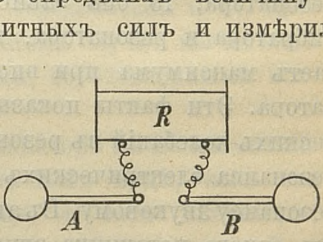
По теоріи Максвелля электрическія и магнитныя силы, вызванныя разрядомъ конденсатора, должны передаваться въ пространствѣ съ конечною скоростью, равною скорости свѣта, постоянною для данной среды; поэтому при распространеніи колебательнаго разряда мы должны имѣть электромагнитную волну тѣмъ болѣе короткую, чѣмъ меньше періодъ колебаній и чѣмъ больше число колебаній, такъ какъ произведеніе длины волны на число колебаній для разрядовъ всѣхъ періодовъ должно равняться постоянной скорости электромагнитныхъ волнъ, кото-

рую обозначимъ черезъ v. Если λ есть длина волны, *n* число колебаній и *T* періодъ, то

$$v = \lambda . n = \lambda . \frac{1}{T} \qquad (1)$$

Для того, чтобы доказать эти положенія теоріи Максвелля, слѣдуетъ экспериментальнымъ путемъ опредѣлить *T*, λ и v и подтвердить равенство (1), или, по крайней мѣрѣ, опредѣлить двѣ величины и по нимъ вычислить третью. Проще всего можетъ быть опредѣлена длина волны λ, что однако не могло быть произведено Феддерсеномъ, который оперировалъ со столь большими волнами, измѣреніе которыхъ не можетъ быть выполнено въ лабораторіи. Дѣйствительно изъ его опытовъ слѣдуетъ, что длина волны его конденсаторовъ заключалась между предѣлами отъ $\lambda = 2{\cdot}6 . 10^{-6} . 3 . 10^{10}$ cm. $= 780$ m. до $\lambda = 45{\cdot}4 . 10^{-6} . 3 . 10^{10}$ cm. $=$ $= 13{\cdot}62$ klm.

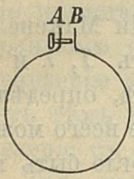
Громадное значеніе опытовъ Герца и состоитъ, во первыхъ, въ томъ, что ему удалось получить столь короткія волны, которыя легко могли вмѣститься и быть измѣрены въ лабораторіи, что и позволило ему подтвердить теорію Максвелля. Въ качествѣ двухъ проводниковъ, между которыми происходитъ разрядъ и которые называются вибраторомъ, Герцъ употреблялъ двѣ проволоки *A* и *B* (фиг. 2) 5 mm. діаметра, у которыхъ на концахъ находились два шарика въ 30 cm. въ поперечникѣ. Эти проводники разноименно заряжались отъ большого индуктора *R*. Приборъ, при помощи котораго Герцъ опредѣлилъ величину и направленіе электрическихъ и магнитныхъ силъ и измѣрилъ длину волны, состоялъ изъ проволочнаго контура, прерваннаго въ одномъ мѣстѣ небольшимъ промежуткомъ, величина котораго могла быть легко регулируема. Этотъ приборъ называется резонаторомъ, такъ какъ дѣйствіе его основывается на резонансѣ электрическихъ колебаній.



Фиг. 2.

На фиг. 3 изображенъ круглый резонаторъ, одинъ конецъ котораго оканчивается маленькой круглой пластинкой *B*, а другой заостреннымъ винтомъ *A*, поворачивая который можно

увеличивать или уменьшать разстояніе между остріемъ винта и пластинкою *B*, называемое искровымъ промежуткомъ. Въ первоначальныхъ опытахъ Герца резонаторъ былъ проволокою соединенъ съ однимъ изъ полюсовъ индуктора. Когда съ индукоромъ была соединена одна изъ точекъ, разстояніе которой отъ конца *A* и *B* неодинаково, то при появленіи искры между борнами индуктора и между концами *A* и *B* появлялась искра, которая была тѣмъ ярче, чѣмъ ближе лежала точка къ искровому промежутку. Если же съ индукторомъ была соединена точка *C*, одинаково удаленная отъ *A* и *B*, то искръ не было. Явленіе станетъ понятнымъ, если примемъ, согласно теоріи Максвелля, что электромагнитныя возмущенія распространяются съ конечною скоростью. Слѣдовательно, чѣмъ дальше лежитъ какая-нибудь точка резонатора отъ точки *C*, въ которой индукторъ соединенъ съ резонаторомъ, тѣмъ позже въ ней величина потенціала достигнетъ того же самаго значенія, что и въ точкѣ *C*. Если поэтому точки *A* и *B* находятся въ одинаковыхъ разстояніяхъ отъ *C*, то въ каждый моментъ величина потенціала въ нихъ одна и та же и искры между *A* и *B* нѣтъ; но она опять наблюдается, какъ только эти разстоянія становятся неравными. Каждому колебанію вибратора соотвѣтствуетъ искра въ резонаторѣ. Такъ какъ разрядъ вибратора состоитъ изъ серіи затухающихъ колебаній, то тотъ же характеръ имѣетъ и разрядъ резонатора. Что касается абсолютной величины искры резонатора, то она зависитъ отъ относительныхъ размѣровъ вибратора и резонатора, и для каждаго вибратора она достигаетъ максимума при вполнѣ опредѣленныхъ размѣрахъ резонатора. Эти факты показываютъ, что при возбужденіи электрическихъ колебаній въ резонаторѣ мы имѣемъ дѣло съ явленіемъ резонанса электрическихъ колебаній, которое вполнѣ аналогично резонансу звуковому. Въ этомъ послѣднемъ случаѣ волны, идущія отъ одного источника звука, заставляютъ звучать другой только въ томъ случаѣ, когда оба звучащія тѣла, напр. два камертона, настроены въ унисонъ, т. е. когда ихъ размѣры таковы, что они совершаютъ одинаковое число колебаній и слѣдовательно ихъ періоды равны; въ противоположномъ случаѣ явленія резонанса нѣтъ, или оно очень слабо. То же самое наблюдается и

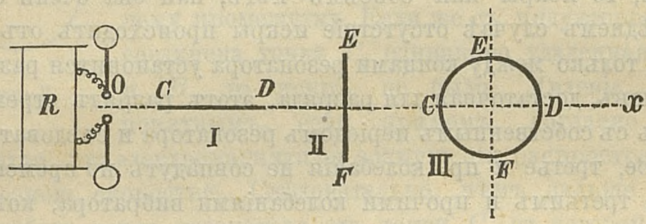


Фиг. 3.

при возбуденіи электрическихъ колебаній въ резонаторѣ, такъ какъ и резонаторъ имѣетъ свой періодъ, опредѣлить который можно, соединивъ его съ индукторомъ. Періодъ, съ которымъ будетъ происходить разрядъ между его полюсами, и будетъ его основнымъ или собственнымъ періодомъ. Если емкость и самоиндукція вибратора и резонатора таковы, что періоды ихъ равны, то происходитъ явленіе электрическаго резонанса и наблюдаемая въ резонаторѣ искра достигаетъ максимума. Если же періоды не равны, то искры или совсѣмъ нѣтъ, или она очень слаба. Въ послѣднемъ случаѣ отсутствіе искры происходитъ отъ того, что какъ только между концами резонатора установится разность потенціаловъ, достаточная для разряда, этотъ разрядъ стремится протекать съ собственнымъ періодомъ резонатора и слѣдовательно его второе, третье и пр. колебанія не совпадутъ по времени со вторымъ, третьимъ и прочими колебаніями вибратора, которыя также индуцируются въ резонаторѣ, и интерферируя съ его собственными колебаніями, даютъ очень слабую искру или даже совсѣмъ не образуютъ на концахъ резонатора достаточной для этого разности потенціаловъ. Наоборотъ, при равенствѣ періодовъ второе, третье и прочія колебанія резонатора совпадаютъ и слѣдовательно усиливаются вторымъ, третьимъ и прочими колебаніями вибратора. Искра въ резонаторѣ получается максимальная. Эти явленія, какъ показалъ Герцъ, могутъ протекать при нѣкоторомъ положеніи резонатора и въ томъ случаѣ, если между нимъ и вибраторомъ нѣтъ непосредственной связи въ видѣ соединительныхъ проволокъ, что показываетъ, что электрическія и магнитныя силы могутъ передаваться и въ пространствѣ, занятомъ діэлектрикомъ. Въ этомъ случаѣ мы имѣемъ полную аналогію съ явленіями резонанса, обусловленными воздушными звуковыми волнами.

Перейдемъ теперь при помощи резонатора къ изслѣдованію электрическихъ и магнитныхъ силъ въ томъ видѣ, какъ это было сдѣлано Герцемъ. Пусть *O* (фиг. 4) есть вибраторъ, искровой промежутокъ котораго заряжается отъ индуктора *R*, а линія *Ox* проведена перпендикулярно къ серединѣ вибратора и центръ кругового резонатора будемъ всегда предполагать находящимся на прямой *Ox* на такомъ разстояніи отъ *O*, гдѣ и электрическое, и магнитное поле достаточно однородны. Сначала повернемъ резонаторъ такъ, чтобы одинъ изъ діаметровъ

CD совпалъ съ линіей *Ox* и плоскость его была перпендикулярна къ вибратору, и слѣдовательно перпендикулярна къ плоскости чертежа, такъ что весь резонаторъ будетъ проектироваться на плоскость чертежа одною линіею *CD*. Это положеніе назовемъ I. Въ этомъ случаѣ, при любомъ положеніи искрового промежутка, искръ въ резонаторѣ не появляется; слѣдовательно ни электрическія, ни магнитныя силы не вызываютъ разности потенціаловъ на концахъ резонатора. Отсюда заключаемъ, что



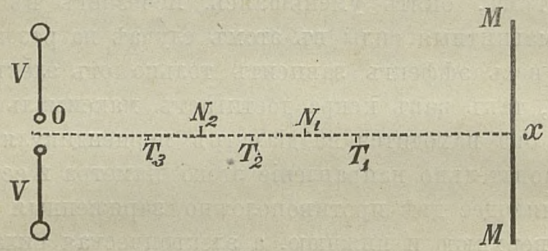
Фиг. 4.

электрическія и магнитныя силы лежатъ въ плоскости резонатора; иными словами, плоскость резонатора не пересѣкаетъ ни потока электрическихъ, ни потока магнитныхъ силъ. Повернемъ теперь резонаторъ такъ, чтобы его плоскость попрежнему была перпендикулярна къ плоскости чертежа, но въ то же время была бы параллельна вибратору. Въ этомъ случаѣ резонаторъ будетъ проектироваться на плоскость чертежа прямою *EF* (положеніе II). Пусть искровой промежутокъ находится сначала въ *E* или въ *F*, въ этомъ случаѣ, какъ бы ни было мало разстояніе между его концами, искръ въ немъ не появляется; слѣдовательно и въ этомъ положеніи оба его конца имѣютъ одинаковые потенціалы и относительно магнитныхъ силовыхъ линій можно сказать, что ихъ потокъ опять не пересѣкаетъ плоскости резонатора и не вызываетъ въ немъ поэтому перемѣнныхъ токовъ, такъ какъ тогда искры были бы замѣтны при всякомъ положеніи искрового промежутка, также когда онъ находится и въ *E* или въ *F*. Такъ какъ магнитныя силовыя линіи лежатъ въ плоскости резонатора, какъ въ положеніи (I), такъ и въ положеніи (II), то слѣдовательно онѣ должны быть перпендикулярны къ плоскости чертежа; это и есть направленіе магнитной силы. Чтобы убѣдиться въ этомъ, достаточно начать поворачивать резонаторъ около діаметра *EF*: сейчасъ же въ искровомъ промежуткѣ начинаютъ

появляться искры, которыя достигаютъ своего максимума, когда резонаторъ приметъ положеніе (III). Въ этомъ направленіи число силовыхъ линій, пронизывающихъ контуръ резонатора, достигаетъ максимума и слѣдовательно онѣ направлены перпендикулярно къ его плоскости. Остается опредѣлить направленіе электрической силы. Если дадимъ резонатору положеніе (II) и затѣмъ начнемъ поворачивать его около оси Ox, не измѣняя направленія его плоскости такъ, чтобы искровой промежутокъ постепенно переходилъ изъ точки E на конецъ діаметра, перпендикулярнаго къ EF и затѣмъ въ точку F, то увидимъ, что въ искровомъ промежуткѣ начнетъ появляться искра, которая достигнетъ своего максимума на концѣ діаметра перпендикулярнаго къ EF и затѣмъ, опять уменьшаясь, исчезнетъ въ точкѣ F. Такъ какъ магнитныя силы въ этомъ случаѣ на резонаторъ не вліяютъ, то весь эффектъ зависитъ только отъ электрической силы. Далѣе, такъ какъ искра достигаетъ максимальной величины, когда она находится на діаметрѣ перпендикулярномъ къ EF, то слѣдовательно направленіе этого діаметра и есть направленіе, отдѣляющее двѣ противоположно заряженныя половины резонатора, верхнюю и нижнюю, а электрическая сила перпендикулярна къ этому діаметру. Только при такомъ направленіи силы она не даетъ слагающей, направленной въ плоскости резонатора, когда онъ занимаетъ положеніе (I), чѣмъ и объясняется, что въ этомъ положеніи искры не появляются при любомъ положеніи искрового промежутка.

Опредѣливъ направленіе электрической и магнитной силъ, Герцъ, смѣривъ длину электромагнитныхъ волнъ, показалъ, что онѣ распространяются съ конечною скоростью. Для этого онъ воспользовался стоячими электромагнитными волнами, получающимися при отраженіи отъ металлической стѣны. Расположеніе опыта, произведеннаго Герцемъ въ аудиторія физическаго института въ Карлсруэ въ 1888 году, было слѣдующее: на одну изъ стѣнъ былъ помѣщенъ цинковый экранъ въ 4 m. вышины и 2 m. ширины, отъ котораго должны были отражаться электромагнитныя волны, и передъ нимъ на разстояніи 13 м. былъ установленъ вибраторъ. Электромагнитныя волны, отражаясь отъ экрана, интерферируютъ съ волнами, идущими отъ вибратора, вслѣдствіе чего между вибраторомъ и экраномъ получаются стоячія электромагнитныя волны; изслѣдуя послѣднія резонато-

ромъ, мы должны получить электрическія и магнитныя пучности тамъ, гдѣ въ той и въ другой системѣ волнъ направленія электрическихъ и магнитныхъ силъ совпадаютъ, и электрическіе и магнитные узлы тамъ, гдѣ электрическія и магнитныя силы въ обѣихъ системахъ волнъ имѣютъ прямо противоположныя направленія. Поставивъ резонаторъ около самаго экрана MN (фиг. 5) въ положеніе (II) и помѣстивъ его искровой промежутокъ на діаметрѣ перпендикулярномъ къ вибратору и къ Ox, т. е. такъ, чтобы на него дѣйствовала только электрическая сила, и затѣмъ, постепенно двигая его отъ экрана къ вибратору, увидимъ, что у самаго экрана въ резонаторѣ искръ не будетъ, онѣ начнутъ постепенно появляться и достигнутъ максимальной



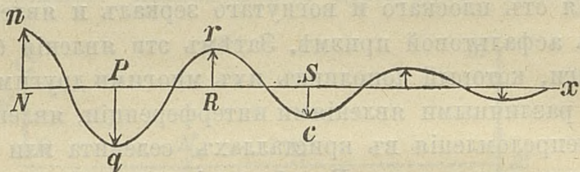
Фиг. 5.

силы въ нѣкоторой точкѣ T_1, затѣмъ опять начнутъ убывать и исчезнутъ въ нѣкоторой точкѣ N_1, вновь достигнутъ максимума въ T_2, минимума въ N_2 и т. д. Слѣдовательно въ точкахъ T_1, T_2 и т. д. мы имѣемъ пучности электрическихъ силъ, а въ точкахъ $x, N_1, N_2 ....$ узлы. Разстояніе между двумя пучностями или узлами равняется половинѣ длины волны. Этимъ же способомъ можетъ быть опредѣлено положеніе узловъ и пучностей магнитной волны, слѣдуетъ только резонаторъ поставить въ положеніе (III) (фиг. 4) и повернуть его такъ, чтобы искровой промежутокъ находился въ точкѣ E или F. Въ этомъ случаѣ, какъ показываетъ опытъ, въ точкахъ x, N_1, $N_2 ....$ мы будемъ имѣть пучности, а въ точкахъ T_1, $T_2 ....$ узлы магнитной силы. Такимъ образомъ и здѣсь, конечно, магнитная волна сдвинута по отношенію къ электрической волнѣ настолько, что пучности электрической силы совпадаютъ съ узлами магнитной и наоборотъ. Въ случаѣ волнъ, измѣренныхъ Герцомъ, разстояніе между двумя узлами или пучностями равнялось отъ 450 до 50 cm., а

слѣдовательно длина волны отъ 9 m. до 1 m. Вычисливъ періодъ своего вибратора и умноживъ число колебаній на длину волны, мы получимъ скорость распространенія электромагнитныхъ волнъ, которая по опытамъ Герца приблизительно равна $3 . 10^{10}$ cm., т. е. одинакова со скоростью свѣта. Кромѣ этого сходства, колебанія электрической и магнитной силъ происходятъ перпендикулярно къ направленію распространенія; слѣдовательно въ электромагнитной волнѣ, какъ и въ свѣтовой, мы имѣемъ поперечныя колебанія. Герцъ показалъ, что кромѣ указаннаго сходства электромагнитная волна обладаетъ всѣми свойствами волны свѣтовой. Ему удалось воспроизвести явленія отраженія отъ плоскаго и вогнутаго зеркалъ и явленіе преломленія въ асфальтовой призмѣ. Затѣмъ эти явленія были повторены Риги, который дополнилъ ихъ многими другими опытами, какъ-то, различными явленіями интерференціи, явленіемъ двойного лучепреломленія въ кристаллахъ селенита или кристаллизированнаго гипса и пр. Изслѣдованія въ этой области указали на полное тождество электромагнитной волны съ свѣтовою, только первая гораздо длиннѣе второй. Съ точки зрѣнія электромагнитной теоріи, свѣтовыя волны вызываютъ въ окружающемъ эѳирѣ не измѣненіе въ плотности или упругости, а электрическія и магнитныя силы, измѣняющіяся съ періодомъ свѣтовой волны.

Не останавливаясь на оптикѣ электрическихъ колебаній, что повело бы насъ за предѣлы этой статьи, ознакомимся подробнѣе съ явленіемъ электрическаго резонанса. Какъ показали изслѣдованія Герца, резонаторъ лучше всего отзывается на колебанія вибратора въ томъ случаѣ, когда періоды обоихъ приборовъ равны. Однако Саразенъ и Деларивъ, повторяя опыты Герца, нашли, что это условіе почти не обязательно. Въ ихъ опытахъ одинъ и тотъ же вибраторъ возбуждалъ электрическія колебанія въ резонаторахъ весьма различнаго періода. Это явленіе, названное Саразеномъ и Деларивомъ многократнымъ резонансомъ, было объяснено ими тѣмъ, что вибраторъ излучаетъ не одно колебаніе опредѣленнаго періода, а цѣлую серію колебаній всевозможныхъ періодовъ, чего однако нѣтъ, какъ это показали позднѣйшія изслѣдованія. Правильное объясненіе этого явленія было дано въ работахъ Біеркнеса, который показалъ, что оно зависитъ отъ разности зату-

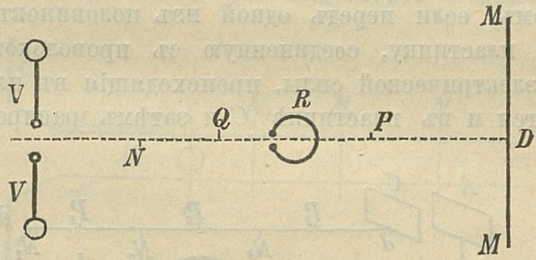
ханій вибратора и резонатора. Разрядъ вибратора состоитъ изъ серіи сильно затухающихъ колебаній. Амплитуда каждаго слѣдующаго колебанія значительно менѣе амплитуды предыдущаго, такъ что вся серія содержитъ лишь три—четыре простыхъ колебаній. Графически это колебаніе изобразится, какъ показано на фиг. 6. Когда такая волна достигаетъ резонатора, то сильное дѣйствіе производитъ на него только первое колебаніе NP, дѣйствіэ же остальныхъ PR, RS и пр., вслѣдствіе ихъ малости, ничтожно. Такая волна производитъ дѣйствіе подобное простому удару, а не ряду толчковъ, слѣдующихъ одинъ за другимъ чрезъ опредѣленные промежутки времени. Получивъ единичный



Фиг. 6.

импульсъ, резонаторъ затѣмъ продолжаетъ колебаться со своимъ собственнымъ періодомъ, давая цѣлый рядъ слабо затухающихъ колебаній, если собственное затуханіе резонатора не велико, что имѣетъ мѣсто въ дѣйствительности для большинства резонаторовъ. Если, поэтому, такими резонаторами будемъ опредѣлять длину стоячей волны вибратора, то различные резонаторы дадутъ намъ различную длину волны, такъ что опредѣленная такимъ образомъ длина волны принадлежитъ самому резонатору. Нетрудно понять отчего это такъ происходитъ, если будемъ разсматривать всю серію колебаній вибратора, какъ единичный импульсъ. Пусть vv есть вибраторъ (фиг. 7), MM поверхность, отражающая волны и R резонаторъ. Первый импульсъ резонаторъ получаетъ отъ вибратора, когда волна отъ vv распространяется къ MM, второй импульсъ отъ отраженной волны, идущей отъ D къ vv и имѣющей сравнительно съ прямою волною прямо противоположный знакъ. Вслѣдствіе этого, если резонаторъ получаетъ второй импульсъ, прямо противоположнаго направленія, въ то время, когда онъ сдѣлалъ одно полное колебаніе, то этимъ его дальнѣйшія колебанія прекращаются, такъ какъ дѣйствіе второго импульса уничтожаетъ

дѣйствіе перваго. Въ этомъ случаѣ искръ въ резонаторѣ нѣтъ, и слѣдовательно въ этой точкѣ M мы имѣемъ узелъ электрической силы. Для этого резонаторъ долженъ находиться на такомъ разстояніи PD отъ поверхности D, которое электрическія колебанія въ обоихъ направленіяхъ, т. е. $PD + PM$ проходятъ во время, равное періоду резонатора. Отсюда разстояніе $PD + DP$ есть длина волны λ резонатора, а PD ея половина $\lambda/2$. Второй узелъ будетъ находиться на разстояніи $QD = 2MD = \lambda$ отъ отражающей поверхности и т. д. Поэтому разстояніе между узлами представляетъ половину длины волны не вибратора, а резонатора, такъ какъ оно зависитъ исключительно отъ періода послѣдняго. Если же резонаторъ будетъ находиться въ точкѣ P или въ точкѣ Q, такъ что разстояніе $PD + DP$ или $QD + DQ$

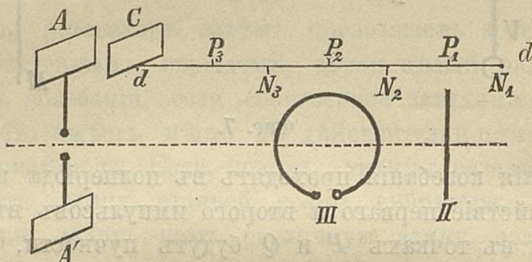


Фиг. 7.

электрическія колебанія проходятъ въ полперіода или въ полтора, то дѣйствіе перваго и второго импульсовъ въ резонаторѣ сложатся и въ точкахъ P и Q будутъ пучности, но и здѣсь разстояніе между пучностями P и Q будетъ зависѣть только отъ періода резонатора. Однако явленіе будетъ происходить какъ разъ наоборотъ, если затуханіе вибратора будетъ менѣе, чѣмъ затуханіе резонатора. Въ этомъ случаѣ дѣйствіе вибратора можно будетъ сравнить не съ единичнымъ импульсомъ, а съ цѣлымъ рядомъ толчковъ, слѣдующихъ одинъ за другимъ чрезъ промежутки времени, равные періоду вибратора. Такое періодическое воздѣйствіе возбуждаетъ въ резонаторѣ электрическія колебанія съ періодомъ вибратора. Поэтому разстояніе между узлами, опредѣленное такими резонаторами весьма различнаго періода, будетъ всегда одно и то же—равное половинѣ длины волны самого вибратора. Если и затуханіе вибратора и затуханіе резонатора очень незначительны, то для возбужденія электрическихъ коле-

баній въ резонаторѣ необходимо, чтобы періоды обоихъ приборовъ были равны или почти равны, какъ это имѣетъ мѣсто и въ случаѣ звуковыхъ волнъ для резонанса двухъ камертоновъ; въ противномъ случаѣ возбужденія не происходитъ. Эта зависимость электрическихъ колебаній отъ затуханія имѣетъ большое значеніе, такъ какъ даетъ возможность, какъ увидимъ впослѣдствіи, устроить согласованные пріемные и передаточные апараты безпроволочной телеграфіи.

Напряженіе электрическихъ колебаній быстро убываетъ съ разстояніемъ отъ вибратора, если онъ не стоитъ въ фокальной линіи цилиндрическаго зеркала, такъ какъ въ противномъ случаѣ электрическія колебанія распространяются вокругъ вибратора во всѣ стороны. Болѣе сильныя электрическія колебанія могутъ быть индуцируемы въ проволокахъ, какъ это было сдѣлано Герцомъ, если передъ одной изъ половинокъ вибратора помѣстимъ пластинку, соединенную съ проволокою (фиг. 8). Колебанія электрической силы, происходящія въ пластинкѣ A, индуцируются и въ пластинкѣ C и затѣмъ распространяются

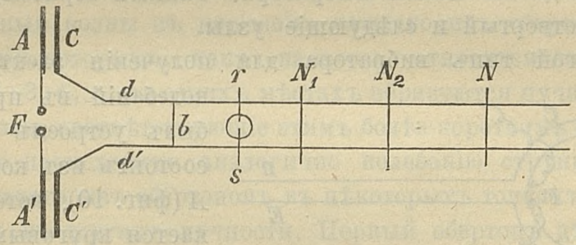


Фиг. 8.

по проволокѣ dd. Электромагнитная волна, отразившись отъ конца проволоки, даетъ стоячія электромагнитныя волны, вполнѣ подобныя волнамъ, образующимся въ воздухѣ. Помѣстивъ резонаторъ въ положеніе (II), какъ это дѣлается для изслѣдованія электрической силы, найдемъ, что пучности электрической силы находятся у конца проволоки и въ точкахъ P_1, P_2...., а узлы между ними въ точкахъ N_1, N_2.... Помѣстивъ же резонаторъ въ положеніе (III) и подвергнувъ его только дѣйствію магнитной силы, найдемъ, что магнитные узлы находятся въ точкахъ P_1, P_2...., а пучности въ точкахъ N_1, N_2.... Такимъ обра-

зомъ при электрическихъ колебаніяхъ прямолинейнаго разомкнутаго проводника на его концѣ образуется электрическая пучность и магнитный узелъ.

Удобное расположеніе для возбужденія электрическихъ колебаній въ проволокахъ было указано Лехеромъ, вибраторъ котораго состоитъ изъ двухъ пластинокъ, соединенныхъ искровымъ промежуткомъ, противъ этихъ пластинокъ *A* и *A'* (фиг. 9) на близкомъ разстояніи находятся пластинки *C* и *C'*, отъ которыхъ идутъ двѣ параллельныхъ проволоки *d* и *d'*. На нѣкоторомъ разстояніи отъ начала проволокъ находится мостикъ *b*—поперечная проволока, лежащая на проволокахъ *dd'*, или къ нимъ припаянная. Система *ACbC'A'FA* состоитъ изъ двухъ конденсаторовъ *AC* и *A'C'*, соединенныхъ искровымъ промежуткомъ *F*. Вся система заряжается отъ индуктора, соединеннаго съ

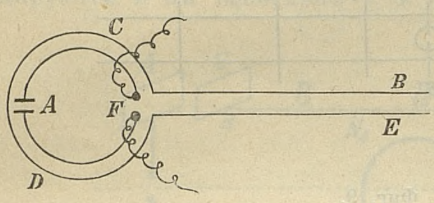


Фиг. 9.

полюсами искрового промежутка, и имѣетъ свой собственный періодъ, зависящій отъ емкости конденсаторовъ и самоиндукціи проволокъ, соединяющихъ мостикъ съ конденсаторами. Электрическія колебанія, получающіяся при разрядѣ всей системы чрезъ искровой промежутокъ, распространяются далѣе по проволокамъ *dd*. Если проволоки достаточно длинны, то—вслѣдствіе излученія электромагнитной энергіи въ пространство, перехода ея въ джаулевскую теплоту внутри проволокъ и пр.—волны распространяются по проволокамъ лишь на нѣкоторое разстояніе. Если же проволоки оканчиваются вблизи вибратора, то электрическія колебанія отражаются отъ ихъ концовъ и образуютъ на проволокахъ систему стоячихъ волнъ. Для того, чтобы произошло отраженіе электрическихъ колебаній, достаточно положить въ какомъ-нибудь мѣстѣ проволокъ второй подвижной мостикъ *NN*. Если разстояніе отъ *b* до *NN* не велико, то электрическія

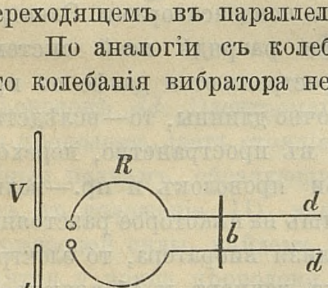
колебанія, отразившіяся отъ NN, вновь отражаются отъ b и т. д., и между мостиками получаются стоячія электрическія колебанія. Если поперекъ проволокъ вблизи мостика b положить стеклянную трубку съ двумя электродами r и s, въ которой воздухъ разряженъ до нѣсколькихъ десятыхъ миллиметра давленія, то, передвигая мостикъ отъ трубки къ концамъ проволокъ, замѣтимъ, что при нѣкоторомъ положеніи мостика N_1N_1 трубка ярко свѣтится; это значитъ, что часть проволокъ отъ b до N_1N_1 находится какъ разъ въ резонансѣ съ вибраторомъ и разность потенціаловъ между электродами трубки максимальная, т. е. она находится въ пучности, а на мостикѣ находится узелъ. Двигая мостикъ далѣе, найдемъ для него второе положеніе N_2N_2, при которомъ трубка опять ярко свѣтится; слѣдовательно въ N_2N_2 находится второй узелъ и разстояніе между узлами равно половинѣ длины волны вибратора. Такимъ образомъ найдемъ третій, четвертый и слѣдующіе узлы.

Другой типъ вибратора для полученія электрическихъ колебаній въ проволокахъ былъ устроенъ Блондло и состоитъ изъ конденсатора A (фиг. 10), который замыкается круговымъ проводникомъ съ искровымъ промежуткомъ F. Электрическія колебанія этого вибратора индуцируютъ въ сплошномъ круговомъ проводникѣ CD, переходящемъ въ параллельныя проволоки B и E.



Фиг. 10.

По аналогіи съ колебаніями звуковыми можно ожидать, что колебанія вибратора не представляются простыми, а сопровождаются рядомъ обертоновъ, какъ наприм. колебанія струны. Изслѣдованія въ этомъ направленіи были произведены Кибицомъ, который изучалъ колебанія прямолинейнаго вибратора. Передъ искровымъ промежуткомъ вибратора v, v' (фиг. 11) былъ помѣщенъ резонаторъ R, къ одной сторонѣ котораго были присоединены параллельныя проволоки dd, соединявшіяся мостикомъ

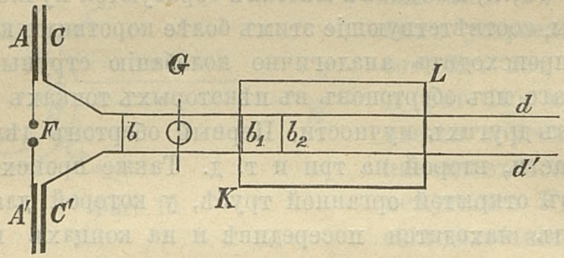


Фиг. 11.

b. Передвигая мосттикъ отъ конца проволокъ къ кругу, можемъ достигнуть того, что часть резонатора, отрѣзаннаго мостикомъ, будетъ находиться какъ разъ въ резонансѣ съ вибраторомъ, и тогда искры въ резонаторѣ особенно ярки. Передвигая однако мостикъ еще ближе къ кругу, найдемъ еще нѣсколько положеній, при которыхъ искры въ резонаторѣ особенно ярки, хотя и слабѣе первой. Эти второстепенные максимумы показываютъ, что наряду съ основнымъ колебаніемъ прямолинейный вибраторъ излучаетъ еще рядъ обертоновъ меньшаго напряженія и меньшихъ періодовъ. Такимъ путемъ Кибицъ могъ наблюдать до восьми обертоновъ. Далѣе онъ показалъ, что если, настроивъ резонаторъ на одинъ изъ обертоновъ, передвигать его вдоль вибратора, то яркость искры не остается постоянною, а поперемѣнно то усиливается, то слабѣетъ. Отсюда слѣдуетъ заключить, что въ самомъ вибраторѣ имѣются стоячія электромагнитныя волны съ періодомъ каждаго изъ обертоновъ, числа колебаній которыхъ, какъ оказалось, относятся какъ нечетныя числа 1 : 3 : 5,...; въ однихъ мѣстахъ образуются пучности, въ другихъ узлы, соотвѣтствующіе этимъ болѣе короткимъ колебаніямъ. Явленіе происходитъ аналогично колебанію струны, гдѣ также для каждаго изъ обертоновъ въ нѣкоторыхъ точкахъ образуются узлы, а въ другихъ пучности. Первый обертонъ дѣлитъ струну на двѣ части, второй на три и т. д. Также происходитъ колебаніе и въ открытой органной трубѣ, у которой для основного тона узелъ находится посерединѣ и на концахъ пучности, и разница между органною трубою и вибраторомъ состоитъ въ томъ, что обертоны органной трубы относятся, какъ числа 1 : 2 : 3..., т. е. труба имѣетъ лишніе обертоны. Наибольшее сходство съ вибраторомъ имѣютъ въ этомъ отношеніи двѣ закрытыхъ органныхъ трубы, обращенныхъ другъ къ другу своими закрытыми концами. Обертоны закрытой трубы относятся также, только какъ нечетныя числа 1 : 3 : 5,...; и узелъ будетъ находиться всегда посерединѣ, гдѣ находятся ихъ закрытые концы. Сходство между органною трубою и вибраторомъ увеличивается еще тѣмъ, что если длина трубы невелика по отношенію къ ея поперечному сѣченію, то она даетъ лишь немного обертоновъ и очень слабо выраженныхъ. То же имѣетъ мѣсто и для колебаній вибратора, если послѣдній состоитъ не изъ двухъ длинныхъ проволокъ, какъ въ изслѣдованіяхъ Кибица, а изъ двухъ шаровъ,

какъ вибраторъ Риги, или изъ двухъ короткихъ цилиндровъ, какъ вибраторъ П. Лебедева, при помощи котораго имъ были получены наиболѣе короткія электромагнитныя волны до 6 mm. длиною. Въ этомъ случаѣ кромѣ основного тона могутъ быть замѣтны лишь очень слабые и при томъ негармоническіе тоны.

Такъ какъ электромагнитныя волны ничѣмъ не отличаются отъ волнъ свѣтовыхъ, то въ различныхъ непроводящихъ средахъ онѣ должны распространяться съ различною скоростью и слѣдовательно преломляться въ нихъ по законамъ свѣтовыхъ волнъ, а въ нѣкоторыхъ средахъ подвергаться аномальной абсорбціи. Электрическія колебанія, распространяющіяся по проволокамъ, даютъ удобный методъ для опредѣленія показателя преломленія электромагнитныхъ волнъ въ діэлектрикахъ. Опредѣленіе показателя преломленія жидкостей можетъ быть выполнено по способу Кона, который пользовался для этого системою Лехера. Параллельныя проволоки вибратора вступаютъ при своемъ продолженіи въ сосудъ KL (фиг. 12), который можетъ



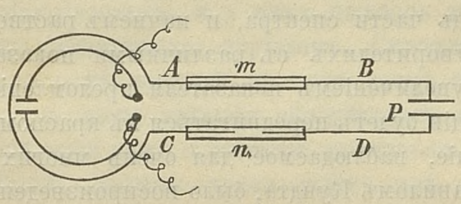
Фиг. 12.

быть наполненъ жидкостью. Положивъ на проволоки мостикъ b_1, передвигаютъ его до тѣхъ поръ, пока трубка Гейслера G не обнаруживаетъ максимальнаго свѣченія. Въ этомъ случаѣ часть проволокъ между мостиками b и b_1 находится въ резонансѣ съ вибраторомъ, и длина bb_1 (если не принимать во вниманіе нѣкоторыхъ второстепенныхъ поправокъ) равна $\lambda_1/2$—половинѣ длины нашей волны въ воздухѣ. Затѣмъ устранивъ мостикъ b_1, приводятъ начало сосуда какъ разъ на его мѣсто и кладутъ мостикъ въ слѣдующій узелъ b_2 (тогда трубка тоже принимаетъ максимальное свѣченіе); понятно, что разстояніе b_1b_2 есть половина длины волны въ изслѣдуемой жидкости, $\lambda_2/2$, Отношеніе

$$n = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

даетъ показатель преломленія n. По теоріи Максвелля квадратъ этого отношенія равняется діэлектрической постоянной, что вполнѣ подтвердилось изслѣдованіями Кона и Друде.

Еще болѣе удобный методъ для опредѣленія діэлектрическихъ постоянныхъ такихъ веществъ, которыя можно имѣть только въ очень малыхъ количествахъ, былъ указанъ Друде. Параллельныя проволоки, идущія отъ вибратора Блондло, состоятъ изъ двухъ частей: проволоки A и B (фиг. 13) соединяются



Фиг. 13.

металлическою трубочкою m, внутри которой ихъ концы могутъ болѣе или менѣе сближаться; точно также проволоки C и D соединены трубочкою n; проволоки B и D оканчиваются маленькимъ конденсаторомъ P, который можетъ быть весь погруженъ въ колбочку съ изслѣдуемою жидкостью, или между пластинками котораго можетъ быть помѣщено испытуемое твердое тѣло. Сначала проволоки выдвигаютъ въ трубки настолько, чтобы система $AmBPDnC$ была въ резонансѣ съ вибраторомъ въ томъ случаѣ, когда конденсаторъ P находится въ воздухѣ, что узнается по свѣченію трубки Гейслера, положенной поперекъ проволокъ. Затѣмъ систему опять приводятъ въ резонансъ для того случая, когда въ колбочку налита какая-нибудь жидкость или между пластинками конденсатора P находится твердый діэлектрикъ. Такъ какъ діэлектрикъ увеличиваетъ емкость конденсатора и слѣдовательно періодъ всей системы, то, чтобы вновь систему $AmBPDnC$ привести въ резонансъ съ вибраторомъ и, слѣдовательно, уменьшить ея періодъ, придется проволоки вдвинуть въ трубки m и n, укоротивъ такимъ образомъ систему и, слѣдовательно, уменьшивъ ея самоиндукцію, пропорціональную длинѣ проволокъ. По уменьшенію самоиндукціи системы можно вычислить діэлектрическую постоянную вещества, внесеннаго въ конденсаторъ. Шмидтъ воспользовался этимъ методомъ для опредѣленія діэлектрическихъ постоянныхъ рѣдкихъ кристалловъ, которые можно имѣть лишь въ видѣ пластинокъ очень небольшой величины; ему удалось выяснить, что діэлектрическія постоянныя нѣкоторыхъ рѣдкихъ кристалловъ, какъ рутила и

пироморфита, значительно превосходятъ даже діэлектрическую постоянную воды, наибольшую изъ извѣстныхъ до того времени діэлектрическихъ постоянныхъ другихъ веществъ.

Интересные опыты по абсорбціи электрическихъ колебаній, составляющіе аналогію явленій Кундта для свѣтовыхъ волнъ, были произведены Ашкинасомъ и Шеферомъ. Если мы возьмемъ какое-нибудь вещество, обладающее по отношенію къ свѣту аномальной абсорбціею и, слѣдовательно, дающее полосу поглощенія въ какой нибудь части спектра, и начнемъ растворять это вещество въ растворителяхъ съ различными показателями преломленія, то съ увеличеніемъ показателя преломленія растворителя полоса абсорбціи будетъ передвигаться къ красному концу спектра. Это явленіе, наблюдаемое для очень многихъ веществъ и называемое правиломъ Кундта, было воспроизведено для электрическихъ колебаній. Такъ какъ абсорбція свѣтовыхъ волнъ даннаго періода зависитъ отъ того, что собственный періодъ молекулъ раствореннаго вещества равенъ періоду свѣтовыхъ волнъ, и слѣдовательно молекулы раствореннаго вещества вмѣсто того, чтобы пропускать свѣтъ, дѣйствуютъ какъ резонаторы и, придя въ колебаніе, поглощаютъ энергію свѣтовыхъ волнъ, то абсорбцію электрическихъ колебаній даннаго періода можно по аналогіи наблюдать во всякой средѣ, въ которой подобно молекуламъ раствореннаго вещества находятся электрическіе резонаторы одинаковаго періода съ абсорбируемыми колебаніями. Явленіе Кундта указываетъ, что чѣмъ больше показатель преломленія растворителя, тѣмъ періодъ молекулъ раствореннаго вещества въ этомъ растворителѣ становится больше, вслѣдствіе чего тѣ же молекулы поглощаютъ болѣе длинныя волны, лежащія ближе къ красному концу. То же должно наблюдаться и по отношенію къ электрическимъ колебаніямъ резонаторовъ; чѣмъ больше показатель преломленія той среды, въ которой они находятся, тѣмъ больше долженъ быть ихъ періодъ. Вслѣдствіе того, что въ свѣтовомъ лучѣ находятся колебанія всевозможныхъ періодовъ, а вибраторъ излучаетъ электрическія колебанія опредѣленной длины волны, имѣть же цѣлый рядъ вибраторовъ слишкомъ затруднительно и неудобно, Ашкинасъ и Шеферъ дали опыту иную постановку. Электрическія волны въ 9 cm. длины, которыя при помощи керосиновой линзы собирались въ параллельный пучекъ, проходили чрезъ

систему электрическихъ резонаторовъ и затѣмъ падали на вогнутое зеркало, которымъ собирались на термоэлементъ; этотъ послѣдній, поглощая электрическую энергію, нагрѣвался и давалъ токъ; по величинѣ тока можно было судить о степени абсорбціи. Въ качествѣ резонаторовъ у нихъ служили маленькія цинковыя полоски, иногда въ количествѣ нѣсколькихъ сотенъ, которыя были подвѣшены на шелковыхъ шнуркахъ внутри эбонитовой рамки. Періодъ резонаторовъ зависѣлъ отъ длины и ширины полосокъ, и у нихъ имѣлось до 11 рамокъ съ резонаторами различныхъ періодовъ. Сначала всѣ рамы поочередно ставились въ воздухѣ на пути волнъ и опредѣлялось, которая изъ рамъ всего сильнѣе абсорбируетъ электрическія колебанія. Періодъ этой рамы и долженъ равняться періоду электрическихъ колебаній. Затѣмъ точно также всѣ рамы изслѣдовались въ жидкостяхъ съ различными діэлектрическими постоянными. Такъ какъ внутри жидкости періоды всѣхъ резонаторовъ должны быть больше, то теперь электрическія колебанія уже не будутъ поглощаться тѣми резонаторами, которыми они поглощались въ воздухѣ, такъ какъ эти резонаторы слишкомъ велики для этого періода; теперь они будутъ поглощаться другими резонаторами, которые въ воздухѣ имѣютъ болѣе короткій періодъ. Чѣмъ больше будетъ показатель преломленія жидкости, тѣмъ меньше будетъ періодъ тѣхъ резонаторовъ, которые станутъ всего сильнѣе абсорбировать колебанія. Опыты Ашкинаса и Шефера вполнѣ подтвердили эти заключенія. Они испытали воздухъ и три жидкости: бензолъ, эфиръ и ацетонъ. Слѣдующая таблица, въ которой вмѣсто періодовъ абсорбирующихъ резонаторовъ приведены ихъ длины (пропорціональныя періодамъ), даетъ зависимость между діэлектрическими постоянными растворителя и періодомъ резонаторовъ, обнаруживающихъ наибольшую абсорбцію для электрическихъ колебаній въ 9 cm. длины волны.

Вещество.	Діэлектрич. постоянная.	Длина резонатора.
Воздухъ . .	1·0	4·7 cm.
Бензолъ . .	2·3	3·1 „
Эфиръ . . .	4·3	2·3 „
Ацетонъ . .	21·0	1·0 „

Эта таблица показываетъ, что если взять раму съ резонаторами въ 3·1 cm. и помѣстить ее внутри бензола, то она задержитъ электрическія колебанія; если же помѣстить ее въ воздухѣ передъ бензоломъ, то она ихъ пропуститъ; результатъ будетъ обратный, если возьмемъ раму съ резонаторомъ въ 4·7 cm. длины.

Кромѣ этой искуственной абсорбціи можетъ быть наблюдаема и естественная аномальная абсорбція въ такихъ веществахъ, молекулы которыхъ имѣютъ собственный періодъ, близкій къ періоду электрическихъ колебаній. Такая абсорбція была наблюдаема Друде въ спиртахъ и въ другихъ подобныхъ химическихъ соединеніяхъ, содержащихъ въ себѣ гидроксильную группу *OH*.

Явленіе Фарадея.

П. А. Зилова.

1. По современнымъ воззрѣніямъ частицы вѣсомыхъ тѣлъ заключаютъ въ себѣ электроны, которые приходятъ въ соколебанія, какъ скоро на тѣло падаютъ лучи свѣта. Эти движенія вызываются тою перемѣнною электрической силою, которая распространяется лучомъ. Въ какой мѣрѣ имѣетъ мѣсто соколебаніе и какое оно оказываетъ вліяніе на скорость распространенія свѣта, это зависитъ отъ величины силъ, которыя стремятся вернуть электронъ въ его положеніе равновѣсія. Представимъ себѣ теперь, что тѣло наше находится въ магнитномъ полѣ, по направленію котораго распространяются лучи, поляризованные по кругамъ вправо и влѣво, т. е. лучи, въ которыхъ перпендикулярно къ ихъ направленію происходятъ круговыя колебанія. На соколеблющіеся электроны дѣйствуютъ силы, направленныя къ центрамъ ихъ круговыхъ траекторій; подъ вліяніемъ магнитнаго поля эти силы увеличиваются или уменьшаются, смотря по направленію обращенія. Вслѣдствіе этого возникаетъ разница

въ скоростяхъ распространенія праваго и лѣваго лучей, а эта разница обусловливаетъ вращеніе плоскости поляризаціи падающаго луча.

Въ этомъ состоитъ давно извѣстное явленіе, открытое еще въ 1845 г. Фарадеемъ и называемое по его имени или магнитнымъ вращеніемъ плоскости поляризаціи; оно объясняется слѣдовательно тою же причиною, какъ и явленіе Зеемана. Послѣднее было уже описано на страницахъ этого журнала (Физич. Обозр., 2 т., 1901 г.); теперь мы примѣнимъ электронную теорію къ объясненію явленія Фарадея.

2. Представимъ себѣ, что на прозрачное тѣло падаетъ лучъ, направленный по оси z и поляризованный въ плоскости yz; уравненіе этого луча пусть будетъ

$$x = \cos 2\pi \frac{t}{T}.$$

Такой лучъ мы можемъ замѣнить четырьмя другими, направленными по оси z и поляризованными: два въ плоскости yz и два въ плоскости xz:

$$x_1 = \frac{1}{2} \cos 2\pi \frac{t}{T}, \qquad y_1 = \frac{1}{2} \sin 2\pi \frac{t}{T},$$

$$x_2 = \frac{1}{2} \cos 2\pi \frac{t}{T}, \qquad y_2 = \frac{-1}{2} \sin 2\pi \frac{t}{T}.$$

Такую замѣну мы имѣемъ право сдѣлать, ибо $x_1 + x_2 = x$ и $y_1 + y_2 = 0$; но съ другой стороны лучи x_1 и y_1, складываясь, даютъ круговой лучъ одного направленія, а x_2 и y_2, складываясь, даютъ круговой лучъ противоположнаго направленія; итакъ прямолинейно поляризованный лучъ можно замѣнить двумя, поляризованными по кругамъ въ противоположныя стороны.

Примемъ теперь, что круговые лучи распространяются въ данномъ тѣлѣ съ разными скоростями, v_1 и v_2; пройдя это тѣло, толщину коего обозначимъ d, лучи измѣняютъ свои фазы на $2\pi d/v_1 T$ и $2\pi d/v_2 T$; слѣдовательно, по выходѣ изъ тѣла наши лучи будутъ опредѣляться уравненіями

$$x_1' = \frac{1}{2} \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{d}{v_1 T}\right), \quad y_1' = \frac{1}{2} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{d}{v_1 T}\right),$$

$$x_2' = \frac{1}{2} \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{d}{v_2 T}\right), \quad y_2' = \frac{-1}{2} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{d}{v_2 T}\right).$$

По выходѣ изъ тѣла пусть всѣ лучи распространяются съ одинакими скоростями; поэтому x_1' сложимъ съ x_2', а y_1' съ y_2':

$$x' = x_1' + x_2' = \cos \frac{\pi d}{T}\left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2}\right) \cos 2\pi \left[\frac{t}{T} - \frac{d}{2T}\left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}\right)\right],$$

$$y' = y_1' + y_2' = \sin \frac{\pi d}{T}\left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2}\right) \cos 2\pi \left[\frac{t}{T} - \frac{d}{2T}\left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}\right)\right].$$

Эти два взаимно-перпендикулярныхъ колебанія одинакихъ фазъ складываются въ одно гармоническое колебаніе прежней амплитуды, составляющее съ прежнимъ колебаніемъ уголъ

$$\omega = \frac{\pi d}{T}\left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2}\right)$$

Такимъ образомъ, если мы только допустимъ, что въ данномъ тѣлѣ круговые лучи распространяются съ различными скоростями, то сзади нашего тѣла имѣется опять лучъ прямолинейно поляризованный въ плоскости, составляющей уголъ ω съ начальною плоскостью поляризаціи.

Обозначимъ v, λ и ν скорость, длину волны и показатель преломленія нашихъ лучей внѣ магнитнаго поля, λ_1 и λ_2, ν_1 и ν_2 длины волнъ и показатели преломленія тѣхъ же лучей въ магнитномъ полѣ; помножая на v числитель и знаменатель второй части послѣдняго выраженія, можемъ дать ему такой видъ:

$$\omega = \frac{\pi d}{\lambda}(\nu_1 - \nu_2).$$

Имѣя въ виду дисперсію свѣта и пользуясь строкою Тайлора, можемъ написать

$$\nu_1 = \nu + (\lambda_1 - \lambda)\frac{\partial \nu}{\partial \lambda}, \qquad \nu_2 = \nu + (\lambda_2 - \lambda)\frac{\partial \nu}{\partial \lambda},$$

откуда

$$\frac{\nu_1 - \nu_2}{\lambda} = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda} \frac{\partial \nu}{\partial \lambda};$$

подставляя это значеніе $(\nu_1 - \nu_2)/\lambda$ въ выраженіи ω, находимъ

$$\omega = \frac{\pi d}{\lambda} (\lambda_1 - \lambda_2) \frac{\partial \nu}{\partial \lambda}. \tag{1}$$

3. Мы допустили, что круговые лучи проходятъ тѣло съ разными скоростями или, что то же, съ разными длинами волнъ. Какъ же объяснить это съ точки зрѣнія электронной теоріи?

Согласно нашимъ допущеніямъ, круговые лучи состоятъ изъ электроновъ, обращающихся около луча съ періодомъ T по кругамъ радіуса r, расположенныхъ перпендикулярно къ лучу. На каждый обращающійся электронъ дѣйствуетъ центростремительная сила, пропорціональная радіусу круга обращенія:

$$F = kr,$$

гдѣ k постоянная. Періодъ обращенія нашего электрона будетъ

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \tag{2}$$

и число колебаній въ одну секунду

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}},$$

гдѣ m—масса электрона.

Представимъ себѣ теперь, что на пути лучей развивается магнитное поле напряженія H и что лучи распространяются по направленію поля. Тогда на электронъ кромѣ силы F дѣйствуетъ еще направленная по радіусу сила $F' = \varepsilon v H$ или, такъ какъ скорость обращенія $v = 2\pi r/T$,

$$F' = \frac{2\pi r \varepsilon H}{T}.$$

Эта сила прибавляется къ силѣ F или вычитается изъ нея, смотря по направленію магнитнаго поля и по знаку заряда ε. Сила F' всегда очень мала сравнительно съ F; присутствіе силы F' какъ бы измѣняетъ k на $\delta k = \pm 2\pi\varepsilon H/T$; чему соотвѣт-

ствуетъ — по ур-iю (2) — измѣненіе числа колебаній въ одну секунду

$$\delta\left(\frac{1}{T}\right)=\pm\frac{H\varepsilon}{4\pi m}.$$

Обозная чрезъ T_1 и T_2 періоды круговыхъ лучей подъ дѣйствіемъ магнитнаго поля, мы можемъ написать

$$\frac{1}{T_1}=\frac{1}{T}+\frac{\varepsilon H}{4\pi m},\quad \frac{1}{T_2}=\frac{1}{T}-\frac{\varepsilon H}{4\pi m}.$$

Такъ какъ T_1 и T_2 очень мало отличаются отъ T, то T_1T_2 можно безъ большой погрѣшности замѣнить чрезъ T^2; такимъ образомъ имѣемъ

$$T_1=T-\frac{\varepsilon H}{4\pi m}T^2,\quad T_2=T+\frac{\varepsilon H}{4\pi m}T^2,$$

откуда

$$T_2-T_1=\frac{\varepsilon H}{2\pi m}T^2$$

или, помножая это ур-іе на v и замѣчая, что $v(T_1-T_2)=\lambda_1-\lambda_2$,

$$\lambda_1-\lambda_2=\frac{\varepsilon H}{2\pi m}\frac{\lambda^2}{v}.$$

Подставляя это значеніе $\lambda_1-\lambda_2$ въ выраженіе (1) имѣемъ

$$(3)\qquad \omega=\frac{\varepsilon H\lambda d}{2mv}\frac{\partial\nu}{\partial\lambda}.$$

Введемъ еще постоянную магнитнаго вращенія, ρ, т. е. уголъ, на который повертывается плоскость поляризаціи луча, прошедшаго единицу толщины тѣла въ полѣ напряженія единицы. Изъ предыдущаго находимъ

$$(4)\qquad \rho=\frac{\omega}{Hd}=\frac{\varepsilon}{m}\frac{\lambda}{2v}\frac{\partial\nu}{\partial\lambda}.$$

Обыкновенно постоянную магнитнаго вращенія выражаютъ въ минутахъ; обозначая послѣднюю черезъ P, имѣемъ

$$\rho = P \frac{2\pi}{360.60}.$$

4. Изъ уравненія (4) можно опредѣлить ε/m, если извѣстны остальныя величины; для $\lambda = 589\ \mu\mu$.

$$\frac{\varepsilon}{m} = 2\cdot 96.10^4\, P \frac{\partial\lambda}{\partial\nu}.$$

Приводимъ результаты нѣкоторыхъ опытовъ Сиртсемы [1]).

	$r.10^6$	$10^7\, \partial\lambda/\partial\nu$	$10^7\, \varepsilon/m$
Воздухъ . . .	553	0·0648	1·06
Двуок. угл. .	8·62	3·5	0·89
Водородъ. . .	456	10	1·77
Вода			1·25
Кварцъ . . .			1·25

Эти значенія ε/m того же порядка, какъ тѣ, которыя получаются другими пріемами, и это убѣждаетъ насъ въ справедливости изложенной теоріи.

---

[1]) Dr. *L. H. Sirtsema* „The calculation of ε/m from the magnetic rotation of the plane of polarisation..."

Теорія электроновъ.

Г. Лоренца[1]).

1) *Максвеллевская теорія и электроны.* Вслѣдствіе почетнаго приглашенія техническаго бюро вашего союза, я долженъ говорить о новѣйшей отрасли ученія объ электричествѣ—о теоріи электроновъ. Тема столь обширная, что нѣтъ возможности ее исчерпать въ то короткое время, которымъ я располагаю. Поэтому ограничусь общимъ обзоромъ и изъ множества явленій выберу лишь нѣкоторыя, на которыхъ остановлюсь подробнѣе.

Едва ли нужно говорить, что подъ электронами разумѣютъ крайне малыя заряженныя частички, въ безчисленномъ множествѣ находящіяся во всѣхъ твердыхъ, жидкихъ и газообразныхъ тѣлахъ; распредѣленіемъ, движеніемъ и дѣйствіемъ электроновъ мы объясняемъ всѣ электромагнитныя явленія въ такихъ тѣлахъ.

Такъ напр. мы представляемъ себѣ, что поверхность заряженнаго проводника покрыта тонкимъ слоемъ положительныхъ или отрицательныхъ частичекъ; если въ проволокѣ идетъ электрическій токъ, то мы представляемъ себѣ, что положительныя частички движутся въ проволокѣ по одному направленію, или же отрицательныя—по противоположному; можетъ быть одновременно движутся и тѣ и другія, такъ что можно говорить о «двойномъ токѣ».

Это движеніе, въ которомъ мы усматриваемъ сущность электрическаго тока, правильное, стройное; но всюду, гдѣ приходится преодолѣвать сопротивленіе, оно превращается въ нестройное тепловое движеніе; такимъ образомъ раскаливаются угольныя нити нашихъ электрическихъ лампочекъ и движущіеся тамъ взадъ и впередъ электроны становятся центромъ испусканія свѣтовыхъ и тепловыхъ лучей.

---

[1]) Ergebnisse und Probleme der Elektronentheorie. Vortrag, gehalten am 20 Dez. 1904 im Elektrotechnischen Verein zu Berlin von *H. A. Lorentz*, Professor an der Universität Leiden.

Когда лучи распространяются въ безвоздушномъ пространствѣ, т. е. въ свободномъ эѳирѣ, то мы уже не имѣемъ дѣла съ электронами, которыхъ нѣтъ въ эѳирѣ. Вслѣдъ за тѣмъ лучъ встрѣчаетъ тѣло, въ которомъ онъ преломляется, которое онъ нагрѣваетъ или въ которомъ онъ вызываетъ какое-нибудь химическое явленіе; тогда этотъ лучъ опять улавливается электронами. Послѣдніе находятся въ стеклѣ призмъ и линзъ, въ чувствительномъ слоѣ фотографической пластинки; здѣсь они, конечно, менѣе подвижны, чѣмъ въ металлѣ, но все-таки не совсѣмъ неподвижны. Они только ждутъ луча, чтобы прійти въ колебанія, послѣ чего оказываютъ вліяніе на распространеніе свѣта.

Въ этой наскоро набросанной картинѣ есть много такого, что очень старо. Идея о матеріальной природѣ электричества, равно какъ и представленіе о томъ, что движущееся электричество образуетъ токъ, общи какъ теоріи электроновъ, такъ и старымъ ученіямъ объ электричествѣ; теорія электроновъ только прецезируетъ эти гипотезы допущеніемъ малыхъ неизмѣняемыхъ и отдѣленныхъ другъ отъ друга тѣлецъ, иными словами допущеніемъ атомнаго строенія электричества.

Прибавлю еще, что мы разсматриваемъ электрическій токъ, какъ движеніе электроновъ, пока онъ происходитъ въ вѣсомой матеріи; максвеллевскіе токи перемѣщенія въ свободномъ эѳирѣ мы считаемъ за нѣчто совершенно иное.

Такъ какъ теорія объясняетъ конвекціею электроновъ всякій кондуктивный токъ, то для нея чрезвычайно важно обстоятельство, что конвективные токи оказываютъ магнитныя дѣйствія. Если бы можно было доказать, что движеніе заряженнаго тѣла не сопровождается такими дѣйствіями, то теорію электроновъ пришлось бы немедленно бросить. Отсюда понятна вся важность опытныхъ изслѣдованій, которыя въ послѣднее время были предприняты по этому поводу. Вы знаете, что Роландъ обнаружилъ магнитныя дѣйствія заряженнаго тѣла, находящагося въ движеніи; въ 1878 году онъ нашелъ, что вращающійся въ своей плоскости заряженный дискъ въ этомъ отношеніи эквивалентенъ системѣ обыкновенныхъ электрическихъ токовъ. За этими первыми опытами, сдѣланными въ лабораторіи Гельмгольца, слѣдовали другіе, предпринятые вмѣстѣ съ Гутчинсономъ; въ нихъ было достигнуто большее дѣйствіе. Хотя послѣ

этого существованіе «роландовскаго эффекта» казалось всѣмъ доказаннымъ, тѣмъ не менѣе нѣсколько лѣтъ тому назадъ Кремьё вновь возбудилъ вопросъ, такъ какъ—при повтореніи опытовъ Роланда—ему не удалось получить положительныхъ результатовъ. Отсюда возникъ споръ, который теперь разрѣшенъ очень счастливо для теоріи электроновъ. Въ то же время Пендеръ въ Бальтиморѣ, повторяя опыты Роланда, не встрѣтилъ препятствій, на которыя натолкнулся Кремьё. Послѣ этого оба физика продолжали изслѣдованія сообща; этимъ они настолько разъяснили вопросъ, что теперь едва-ли можетъ возникнуть какое нибудь сомнѣніе относительно правильности заключеній, сдѣланныхъ Роландомъ. Другіе опыты—назову лишь опыты Адамса въ Кембриджѣ (Масс.), Эйхенвальда въ Москвѣ и Карпена въ Парижѣ—подтвердили этотъ результатъ, такъ что съ этой стороны теоріи не угрожаетъ никакой опасности.

Я уже обращалъ ваше вниманіе на близость теоріи электроновъ съ прежними воззрѣніями. Особенно она близка къ теоріи двухъ жидкостей, которую разрабатывалъ Веберъ. Дѣйствительно, скажу-ли я, что заряженное тѣло обладаетъ избыткомъ положительной или отрицательной электрической жидкости, или же избыткомъ электроновъ извѣстнаго рода, въ этомъ нѣтъ большой разницы. Но все-таки наши теперешнія воззрѣнія значительно отличаются отъ прежнихъ и при томъ въ двухъ отношеніяхъ. Во-первыхъ, мы принимаемъ во всемъ объемѣ общія идеи максвеллевской теоріи и, во-вторыхъ, о свойствахъ электроновъ, о ихъ зарядѣ, массѣ, разности и скорости мы можемъ высказаться гораздо опредѣленнѣе, чѣмъ прежде могли высказываться о свойствахъ частицъ электрическихъ жидкостей.

Позвольте мнѣ сначала разъяснить первый пунктъ.

Основныя идеи максвеллевской теоріи всѣмъ намъ хорошо извѣстны; вы ими пользуетесь изо дня въ день. Теперь мы уже не думаемъ о взаимодѣйствіи наэлектризованныхъ тѣлъ, о проводникѣ тока или о магнитѣ, не представляя себѣ въ то же время вокругъ нихъ и между ними электрическаго или магнитнаго, вообще электромагнитнаго поля. Здѣсь мы представляемъ себѣ оба состоянія, коими опредѣляются такъ наз. «электрическая» и «магнитная» силы и которымъ соотвѣтствуетъ вполнѣ опредѣленное количество энергіи. Далѣе мы имѣемъ довольно простыя уравненія, съ помощью коихъ можно вычислить поле:

одно изъ нихъ выражаетъ связь между токомъ и магнитною силою, другое—связь между электрическою силою и измѣненіемъ магнитной индукціи. Мнѣ нѣтъ надобности приводить эти формулы; достаточно напомнить, что вообще онѣ представляютъ распространеніе состояній со скоростью свѣта. Конечно, бываютъ и случаи стаціонарнаго состоянія, когда и рѣчи не можетъ быть о распространеніи; но если измѣняется величина тока, приходятъ въ движеніе наэлектризованное тѣло или магнитъ, то возникаетъ электромагнитная волна, съ которою излучается энергія.

По электронной теоріи въ эѳирѣ, окружающемъ каждый электронъ, существуетъ поле, удовлетворяющее общимъ ур-мъ Максвелля; всякое доступное изслѣдованію поле происходитъ отъ сложенія безчисленнаго множества такихъ элементарныхъ полей. Что касается поля отдѣльнаго электрона, то оно электростатическое, если частичка въ покоѣ; при движеніи же частички прибавляются еще и магнитныя силы. Если движеніе непрерывно происходитъ по одному направленію съ постоянною скоростью, то состояніе настолько стаціонарно, что электронъ несетъ съ собою неизмѣняемое поле. Во всѣхъ другихъ случаяхъ, слѣд. при всякомъ измѣненіи скорости, по направленію или по величинѣ, мы имѣемъ дѣло съ лучеиспусканіемъ.

Если бы вы требовали отъ меня математическаго изложенія электронной теоріи, то предыдущее утвержденіе я бы долженъ былъ обставить формулами, служащими для опредѣленія поля и на которыхъ основано все послѣдующее развитіе. Но вашему ожиданію, какъ я думаю, будетъ болѣе отвѣчать, если вмѣсто того я въ нѣсколькихъ словахъ скажу какія предположенія надо сдѣлать для вывода этихъ формулъ. Первое предположеніе состоитъ въ томъ, что эѳиръ не только наполняетъ все пространство между электронами, но проникаетъ и эти частички, которымъ мы приписываемъ нѣкоторое протяженіе; даже внутри электрона существуетъ электромагнитное поле, которое мы опредѣляемъ вмѣстѣ со внѣшнимъ. Второе не менѣе важное предположеніе утверждаетъ, что въ то время, когда электроны движутся, эѳиръ не двигается съ мѣста. Въ этой средѣ, конечно, могутъ происходить разныя измѣненія состоянія, но теченія эѳира (какъ напр. теченіе жидкости) не могутъ происходить.

Эта гипотеза покоющагося эѳира была составлена Френелемъ, и сначала имѣла цѣлью объяснить нѣкоторыя оптическія

явленія въ движущихся тѣлахъ. Теперь мы можемъ ее примѣнить къ электромагнитнымъ явленіямъ. Если не только заряженная пластинка, какъ въ опытахъ Роланда, но цѣлый конденсаторъ приводится во вращеніе около поперечной оси, то и изъ діэлектрика исходятъ магнитныя дѣйствія, какъ это показалъ Рёнтгенъ. Изъ опытовъ Эйхенвальда выяснилось, что въ приборѣ съ вѣсомымъ діэлектрикомъ это дѣйствіе не соотвѣтствуетъ полному діэлектрическому перемѣщенію; надо представлять себѣ, что максвеллевское перемѣщеніе состоитъ изъ двухъ частей, изъ коихъ одно связано съ матеріею, другое же имѣетъ мѣсто въ эѳирѣ; только первая часть, увлекаемая движущеюся матеріею, вызываетъ магнитное поле.

Обратимся теперь къ силѣ, дѣйствующей на электронъ; здѣсь мы опять стоимъ на почвѣ максвеллевской теоріи. Сила производится эѳиромъ въ томъ мѣстѣ, гдѣ находится электронъ, и прямо опредѣляется состояніемъ этого эѳира; она лишь посредственно зависитъ отъ электроновъ, вызывающихъ поле. Если электронъ въ покоѣ, то испытываемая имъ сила получается, помножая напряженіе въ эѳирѣ на зарядъ электрона. Если же электронъ движется, то къ этому прибавляется новая сила, которая перпендикулярна къ плоскости, проходящей чрезъ направленія движенія и магнитнаго поля; величину этой силы мы получимъ, помножая зарядъ частички на ея скорость, на напряженіе магнитнаго поля и на sinus угла между этими векторами. Направленіе силы опредѣляется такъ: вообразимъ себѣ вращеніе меньшее 180°, которое переводитъ направленіе скорости въ направленіе поля и этой плоскости, и положимъ часы такъ, чтобы движеніе стрѣлокъ совершалось по этому направленію; дѣйствующая на электронъ сила направлена отъ циферблата назадъ или впередъ, смотря по тому, положительный или отрицательный зарядъ.

Вообще въ какомъ-нибудь полѣ испытываемое электрономъ дѣйствіе складывается изъ обѣихъ сказанныхъ частей, которыя различаются наименованіями «электростатической» и «электромагнитной силы». Суммированіемъ первыхъ мы вычисляемъ полное дѣйствіе поля на всѣ электроны въ заряженномъ или въ электрически поляризованномъ тѣлѣ, т. е. всѣ электростатическія силы. Второю частью силы мы объясняемъ электродина-

мическія дѣйствія, равно какъ всѣ явленія индукціи въ вѣсомыхъ тѣлахъ.

Оставаясь вѣрными основнымъ положеніямъ максвеллевской теоріи, мы въ то же время, принимая гипотезу объ электронахъ, идемъ значительно дальше. Съ этимъ связано значеніе, которое эѳиръ имѣетъ въ новой теоріи. Это уже не такой діэлектрикъ, какъ всякій другой, только съ меньшею діэлектрическою постоянною, но діэлектрикъ совершенно особаго рода, это собственно единственная среда, которую мы себѣ представляемъ, ибо всѣ тѣла имъ проникнуты и слѣдовательно имъ передаются всѣ силы. Если принять, что между двумя дѣйствующими другъ на друга частицами или атомами всегда остается хотя малое разстояніе, то можемъ утверждать, что безъ участія эѳира никакія силы не дѣйствуютъ. Это относится не только къ электрическимъ и магнитнымъ взаимодѣйствіямъ, но также къ молекулярнымъ силамъ и химическимъ дѣйствіямъ, къ давленію, которое мы производимъ на какой-нибудь предметъ, и къ силѣ, съ которою укорачивается растянутая веревка. Что же касается специальныхъ свойствъ вѣсомыхъ діэлектриковъ, отличающихъ ихъ отъ эѳира, то мы ихъ объясняемъ допущеніемъ, что частицы содержатъ электроны, которые пріурочены къ положеніямъ равновѣсія и могутъ быть выведены изъ нихъ электрическими силами; если такое перемѣщеніе имѣетъ мѣсто, то мы говоримъ, что тѣло электрически поляризовано; и въ этой поляризаціи состоитъ именно та часть связаннаго съ матеріею діэлектрическаго перемѣщенія, о которой была рѣчь выше.

Я еще буду имѣть случай на примѣрахъ показать цѣлесообразность и плодотворность гипотезы электроновъ. Теперь же скажу только, что она тѣсно примыкаетъ къ молекулярнымъ теоріямъ физики и къ атомной теоріи, особенно къ теоріи іоновъ, сдѣлавшей столь много для объясненія явленій электролиза, и къ теоріи газіоновъ, позволяющей намъ болѣе или менѣе понять загадочныя явленія разряда.

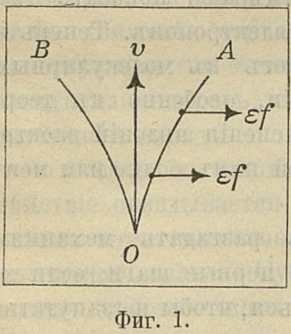
Конечно, въ нашихъ попыткахъ разгадать механизмъ явленій, мы сдѣлали еще лишь самые первые шаги; если хотимъ итти дальше, то должны остерегаться, чтобы не запутаться въ теоретическихъ умозрѣніяхъ. Еще надо признать, что во многихъ случаяхъ можемъ слѣдовать иными путями съ тѣмъ же или даже съ бо́льшимъ успѣхомъ. Таковы напр. термодинами-

ческія соображенія; особенная прелесть заключается здѣсь въ томъ, что, не заботясь о скрытомъ механизмѣ явленія, мы можемъ немногими уравненіями обнять обширную область явленій.

2. *Магнитныя и электрическія опредѣленія v и ε/m.* Мы разсмотримъ теперь электроны, свободно движущіеся въ эѳирѣ, а также электроны, заключенные въ вѣсомыхъ тѣлахъ; къ послѣднимъ относятся и тѣ заряженныя частички, которыя называются іонами.

Съ свободными электронами мы имѣемъ дѣло въ катодныхъ, закатодныхъ и беккерелевскихъ лучахъ. Первые, конечно, всѣмъ извѣстны. Закатодные лучи открыты Гольдштейномъ; при извѣстныхъ условіяхъ ихъ наблюдаютъ въ разрядной трубкѣ съ продырявленнымъ катодомъ; они возникаютъ на задней сторонѣ катода, обращенной къ аноду, и выходятъ изъ дыръ; они, повидимому, возникаютъ у анода и проходятъ чрезъ дыры катода. Что касается, наконецъ, удивительныхъ беккерелевскихъ лучей, то открытіе ихъ подоспѣло какъ разъ во-время для электронной теоріи; они послужили пробнымъ камнемъ для теоріи и имъ мы обязаны важнѣйшими заключеніями о природѣ электроновъ. Я буду говорить о лучахъ радія, въ которыхъ надо различать три сорта: α-, β- и γ-лучей; изъ нихъ α-лучи обладаютъ наименьшею, а γ-лучи наибольшею проникающею способностью.

Изъ различныхъ явленій было выведено заключеніе, что всѣ упомянутые лучи, за исключеніемъ развѣ однихъ γ-лучей, состоятъ изъ электроновъ, летящихъ въ направленіи лучей; при ударѣ эти электроны вызываютъ фотографическія дѣйствія и флуоресценцію. Тѣло, встрѣчаемое этими лучами, заряжается однимъ электричествомъ, а тѣло, испускающее ихъ, остается съ противоположнымъ зарядомъ. Для моихъ цѣлей важны тѣ измѣненія, которыя электрическое или магнитное поле производитъ на направленіе лучей. Сначала представимъ себѣ одинъ электронъ, движущійся въ однородномъ электрическомъ полѣ, силовыя линіи коего перпендикулярны къ начальному направленію движенія, напримѣръ



Фиг. 1.

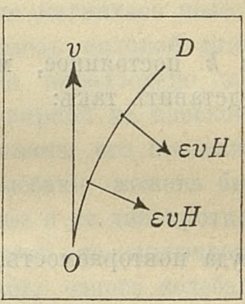
направлены вправо. Если въ точкѣ O (фиг. 1) положительный электронъ движется вверхъ со скоростью v, то—подъ дѣйствіемъ постоянной направленной вправо силы—онъ описываетъ параболу OA. Напротивъ того, получилась бы кривая OB обратной кривизны, если бы частичка была заряжена отрицательно. Если ε зарядъ, m масса электрона и f напряженіе поля, то постоянное ускореніе электрона равняется $\varepsilon f/m$ и радіусъ кривизны R траекторіи въ O опредѣляется ур-мъ

$$\frac{v}{R^2} = \frac{\varepsilon f}{m}; \qquad (1)$$

такимъ образомъ изъ наблюденій, которыя позволяютъ измѣрить R и f, можно опредѣлить значеніе

$$\frac{\varepsilon}{mv^2} \qquad (2)$$

Въ магнитномъ полѣ направленіе лучей также измѣняется; если лучъ перпендикуляренъ къ полю, то здѣсь отклоняется въ плоскость перпендикулярную къ силовымъ линіямъ. Пусть поле направлено перпендикулярно къ плоскости чертежа, именно спереди назадъ; тогда частичка, первоначально направленная вверхъ, будетъ описывать отклоненный вправо путь OD (фиг. 2), если она положительная, и путь отклоненный влѣво, если она отрицательная. Такъ какъ сила всюду перпендикулярна къ направленію движенія, то скорость v остается постоянною; вслѣдствіе этого и величина силы не измѣняется (тангенціальнаго ускоренія нѣтъ), такъ что описывается кругъ; эта сила $= \varepsilon vH$, гдѣ H напряженіе магнитнаго поля; слѣдовательно для опредѣленія радіуса R этого круга, имѣемъ ур-іе



Фиг. 2.

$$\frac{v^2}{R} = \frac{\varepsilon v H}{m}, \qquad (3)$$

при помощи котораго, измѣряя H и R, можно вычислить

$$\frac{\varepsilon}{mv}. \qquad (4)$$

Отсюда слѣдуетъ, что (по крайней мѣрѣ, если только нѣтъ сомнѣнія въ направленіи движенія) изъ направленія, въ которомъ происходитъ электрическое или магнитное отклоненіе, можно заключить о знакѣ заряда электрона. Далѣе, измѣривъ оба отклоненія для одного и того же луча, можно опредѣлить скорость v и удѣльный зарядъ ε/m.

3. *Явленіе Зеемана.* Бываютъ случаи, въ которыхъ достаточно наблюденія одного магнитнаго отклоненія для опредѣленія ε/m. Первое изъ подобныхъ явленій, въ которомъ мы, конечно, имѣемъ дѣло не съ свободными электронами, состоитъ въ измѣненіи, испытываемомъ періодомъ колебанія лучей, когда испускающій ихъ газообразный источникъ свѣта находится въ магнитномъ полѣ. Простѣйшее представленіе о лучеиспусканіи состоитъ въ томъ, что въ каждой частицѣ свѣтящаго газа находится одинъ подвижной электронъ, который, будучи перемѣщенъ на r изъ положенія равновѣсія, испытываетъ силу пропорціональную этому перемѣщенію и стремящуюся его возвратить въ положеніе равновѣсія. Полагая эту силу

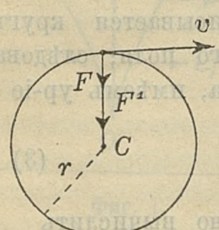
$$F = kr,$$

гдѣ k постоянное, мы можемъ періодъ колебаній электрона представить такъ:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

откуда повторяемость, т. е. число колебаній въ 2π секундъ

$$n = \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{5}$$



Фиг. 3.

Такую же повторяемость имѣютъ лучи, которые испускаетъ частица вслѣдствіе измѣненія своей скорости.

Разсмотримъ теперь круговое колебаніе, совершаемое въ плоскости перпендикулярной къ магнитному полю, напряженіе коего H. Рядомъ съ силою $F = kr$, направленною къ центру C круга (фиг. 3), на электронъ дѣйствуетъ

еще сила $F' = \varepsilon v H$, обусловливаемая магнитнымъ полемъ; такъ какъ $v = 2\pi r/T = nr$, то

$$F' = \varepsilon n H r.$$

Эта сила направлена по радіусу; смотря по направленію обращенія, по направленію магнитнаго поля и по знаку ε она или одинаково направлена съ F или прямо противоположна ей; эта новая сила въ дѣйствительности очень мала въ сравненіи съ силою F; можно сказать, что она вызываетъ лишь небольшое измѣненіе въ постоянной k, именно измѣняетъ ее на $\delta k = \varepsilon n H$, вслѣдствіе чего повторяемость (5) измѣняется на

$$\delta n = \frac{\delta k}{2nm} = \frac{\varepsilon H}{2m}, \qquad (6)$$

при чемъ знакъ этого выраженія можетъ быть тотъ или другой: если при одномъ направленіи обращенія продолжительность качаній увеличивается, то при противоположномъ обращеніи оно уменьшается.

Далѣе обратимъ вниманіе на то, что магнитное поле не дѣйствуетъ на электронъ, двигающійся вдоль силовой линіи; такимъ образомъ, если электронъ качается параллельно силовымъ линіямъ (т. е. по прямой перпендикулярной къ плоскости нашего чертежа), то поле вовсе не измѣняетъ его продолжительности качаній. Такъ какъ всякое колебаніе можетъ быть разложено на такое прямолинейное колебаніе и на два противоположныхъ круговыхъ въ плоскости чертежа, то заключаемъ, что подъ вліяніемъ магнитнаго поля вмѣсто одного колебанія повторяемости n являются три колебанія съ повторяемостями n, $n + \delta n$ и $n - \delta n$; при спектральномъ разложеніи свѣта вмѣсто одной линіи мы получаемъ тройную или такъ наз. триплетъ линій. Это именно и наблюдалъ Зееманъ. Слѣдуетъ замѣтить, что указанный случай простѣйшій; чаще приходится наблюдать болѣе сложныя явленія.

Если имѣемъ дѣло съ триплетомъ, то измѣреніе разстояній его составляющихъ даетъ намъ значеніе δn; если еще извѣстно H, то по формулѣ (6) можно будетъ вычислить и ε/m. Такимъ образомъ Зееманъ опредѣлилъ это отношеніе; кромѣ того изъ подобныхъ наблюденій можно заключить, какимъ зарядомъ—

положительнымъ или отрицательнымъ—обладаетъ подвижной электронъ, который своими колебаніями вызываетъ лучъ свѣта.

4. *Вращеніе плоскости поляризаціи.* Какъ уже было сказано, мы представляемъ себѣ электроны въ частицѣ вѣсомаго тѣла, которые приходятъ въ соколебанія, какъ скоро на тѣло падаютъ лучи свѣта. Тутъ причину этого явленія нужно искать въ перемѣнной электрической силѣ, которая образуетъ лучъ свѣта. Въ какой мѣрѣ это соколебаніе имѣетъ мѣсто и какое вліяніе оно оказываетъ на свѣтовое движеніе, именно на скорость распространенія свѣта, это зависитъ отъ величины силы, стремящейся возвратить электроны въ ихъ положенія равновѣсія. Представимъ себѣ, что тѣло находится въ магнитномъ полѣ и пронизывается по направленію силовыхъ линій свѣтомъ, поляризованнымъ по кругу вправо или влѣво, т. е. лучами, въ которыхъ происходятъ круговыя колебанія въ плоскостяхъ перпендикулярныхъ къ лучамъ. Тогда дѣйствующая на соколеблющійся электронъ и направленная къ центру его круговаго пути сила измѣняется магнитнымъ полемъ—уменьшается или увеличивается, смотря по направлонію его движенія (такъ же, какъ и въ случаѣ зеемановскаго явленія). Отсюда возникаетъ неравенство въ скоростяхъ праваго и лѣваго лучей, которое—по извѣстнымъ законамъ оптики—выражается тѣмъ, что направленіе колебаній прямолинейно поляризованнаго луча вращается, пока онъ проходитъ чрезъ тѣло. Это давно извѣстное явленіе обусловливается въ сущности тою же причиною, какъ и зеемановскій эффектъ; понятно, что имъ можно воспользоваться для опредѣленія ε/m. Сиртсема вычислилъ величину этого отношенія изъ вращенія плоскости поляризаціи въ нѣкоторыхъ тѣлахъ.

5. *Зарядъ* ε. До сихъ поръ рѣчь была лишь объ отношеніи ε/m. Что же касается ε—заряда отдѣльной частицы, то Дж. Дж. Томсонъ опредѣлилъ его для газіона весьма оригинальнымъ способомъ. Если въ іонизированномъ газѣ имѣется водяной паръ, то при адіабатномъ расширеніи вызывается охлажденіе и образуется туманъ, при чемъ іоны служатъ центрами осѣданія. Принимаютъ, что около каждаго отдѣльнаго іона образуется капелька воды; величину этой капельки можно опредѣлить изъ скорости паденія тумана; для этого надо воспользоваться однимъ результатомъ теоретическаго изслѣдованія Стокса, что маленькій шарикъ падаетъ въ воздухѣ съ постоянною скоростью, которая

извѣстнымъ образомъ зависитъ отъ его вѣса и радіуса, а также отъ коэффиціента тренія воздуха. Если опредѣлить еще вѣсъ осѣвшаго пара, то простымъ дѣленіемъ мы находимъ число водяныхъ капелекъ, а слѣдовательно и число іоновъ. Надо еще знать полный зарядъ осѣвшаго пара, чтобы опредѣлить и зарядъ каждаго отдѣльнаго іона.

Напомню, что для электролитическихъ іоновъ отношеніе ε/m можно вычислить изъ заряда іона, опредѣляемаго по электрохимическому эквиваленту, и изъ его массы, опредѣляемой кинетическою теоріею газовъ.

6. *Результаты.* Теперь перейдемъ къ главнѣйшимъ результатамъ, которые были получены, и къ основаннымъ на нихъ заключеніямъ и гипотезамъ.

Нѣкоторыя изъ значеній ε/m приведены въ табл. I, изъ которой видно, когда мы имѣемъ дѣло съ положительными іонами и когда съ отрицательными. Измѣренія сдѣланы въ системѣ *C. G. S.* и электромагнитныхъ единицахъ.

Таблица I.

	ε/m		v
Іоны водорода	9650		
Отрицательные электроны.			
Явленіе Зеемана	1·6—3	10^7	
Вращеніе плоскости поляризаціи .	0·9—1·8	10^7	
Катодные лучи (Симонъ)	1·86	10^7	0·1—0·3
» » (др.)	0·7—1·4	10^7	
Цинкъ, освѣщ. ультраф. лучами .	0·7	10^7	
β-лучи	1·75	10^7	до 0·95
Положительные электроны.			
Закатодные лучи	300—9000		
α-лучи	6000		0·07

Прежде всего бросается въ глаза, что значеніе ε/m для отрицательныхъ электроновъ гораздо больше, чѣмъ для положительныхъ, и что для первыхъ изъ нихъ это значеніе колеблется

въ довольно тѣсныхъ предѣлахъ. Это приводитъ къ предположенію, что во всѣхъ изслѣдованныхъ случаяхъ отрицательные электроны лишь мало различаются между собою по отношенію массы и заряда.

Массу іона водорода можно приблизительно оцѣнить въ 10^{-24} gr.; послѣ того его зарядъ

$$\varepsilon = 10^{-20}.$$

Замѣчательно, что опыты Томсона дали для заряда газіона число очень близкое къ этому.

Извѣстно, что въ электролитахъ всѣ одновалентные іоны—положительные или отрицательные—имѣютъ одинакіе заряды, а двух- и трехвалентные іоны имѣютъ двойные, тройные... заряды сравнительно съ одновалентными. Эти законы давно уже привели къ убѣжденію, что зарядъ одновалентнаго іона есть элементарное количество электричества или «атомъ» электричества; заряды могутъ быть кратными этого количества, но не могутъ быть частями его. Съ этимъ взглядомъ вполнѣ согласуются результаты Томсона, и такимъ образомъ приходимъ къ гипотезѣ: въ природѣ существуетъ опредѣленное электрическое элементарное количество; не только одновалентные іоны, но и изслѣдованные газіоны, а также отрицательные электроны несутъ на себѣ эти элементарныя количества, какъ заряды. Что касается до распространенія этой гипотезы на отрицательные электроны, то слѣдуетъ замѣтить, что прямое измѣреніе ихъ зарядовъ до сихъ поръ не удавалось. Но, считая электронъ за простѣйшее матеріальное образованіе, какое только существуетъ, естественно приписать ему наименьшій изъ возможныхъ зарядовъ. Къ тому же опредѣленіе ε/m и измѣреніе ε было сдѣлано для заряженныхъ частицъ, находящихся въ окружающемъ газѣ, когда отрицательно заряженная цинковая пластинка освѣщалась ультрафіолетовыми лучами; только въ однихъ опытахъ газъ былъ болѣе разрѣженъ, чѣмъ въ другихъ. Если давленіе очень низко, то возникаютъ настоящіе катодные лучи, что подтверждается значеніемъ ε/m, опредѣленномъ для этихъ лучей и приведенномъ въ нашей табличкѣ. При болѣе высокомъ давленіи имѣемъ дѣло съ газіонами; если они возникаютъ вслѣдствіе того, что отрицательные электроны первоначальныхъ катодныхъ лучей насаживаютъ на

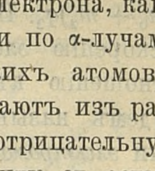
себя частицы воздуха, то заряды газіоновъ должны равняться зарядамъ электроновъ, которые служатъ имъ центрами.

Впрочемъ и оптическія явленія говорятъ за то, что зарядъ электрона того же порядка, какъ и зарядъ электролитическаго іона.

Едвали стоитъ говорить, что разъ мы приняли существованіе опредѣленнаго элементарнаго количества электричества, то и заряды положительныхъ электроновъ или іоновъ, выраженные въ этихъ же естественныхъ единицахъ, могутъ имѣть значенія 1, 2,...

7. *Масса электрона.* Изъ приведеннаго сдѣлаемъ теперь важныя заключенія относительно массы электроновъ и іоновъ. Будемъ имѣть въ виду только тѣ случаи, когда всѣ электроны и іоны имѣютъ одинакіе заряды ε; тогда масса m обратно пропорціональна значенію ε/m. Слѣдовательно масса отрицательнаго электрона составляетъ лишь малую часть атома водорода; если примемъ для ε/m значеніе, найденное Симономъ, то оно составляетъ лишь 1/2000 часть; а масса положительнаго электрона, какъ о томъ можно судить по закатоднымъ лучамъ или по α-лучамъ радія, того же порядка, какъ массы химическихъ атомовъ. Такимъ образомъ, повидимому, электроны возникаютъ изъ распаденія атома на двѣ заряженныя частички—на отрицательную съ ничтожною частью ея массы и на положительную съ остаткомъ массы, т. е. почти со всею массою атома.

Въ табл. I находятся нѣкоторыя указанія относительно скорости свободныхъ электроновъ, при чемъ за единицу принята скорость свѣта. Тогда какъ положительные электроны значительно отстаютъ, у отрицательныхъ электроновъ встрѣчаются очень большія скорости. Въ этомъ отношеніи замѣчательны лучи радія. Соль радія выбрасываетъ одновременно отрицательныя частички съ очень большою скоростью и положительныя—съ гораздо меньшею. Магнитное поле раздѣляетъ лучи, какъ это схематически представлено на фиг. 4, въ которомъ поле опять направлено перпендикулярно къ плоскости чертежа: α- и β-лучи отклоняются полемъ въ разныя стороны, а γ-лучи не отклоняются.



Фиг. 4.

Мы уже видѣли, что вообще на электронъ дѣйствуетъ сила, какъ скоро онъ находится въ электромагнитномъ полѣ; но существуетъ еще собственное поле электрона и потому возникаетъ

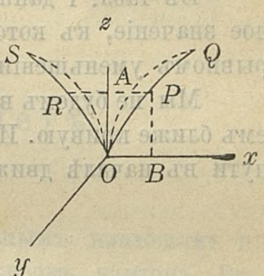
вопросъ: обусловливаетъ-ли оно также какую-нибудь силу? Вычисленіе показываетъ, что такая сила развивается, если только электронъ совершаетъ движеніе иное, чѣмъ равномѣрное прямолинейное.

Если назовемъ q_1 тангенціальное и q_2—нормальное ускореніе, то эѳиръ дѣйствуетъ на электронъ съ двумя силами, которыя противоположны этимъ ускореніямъ и имъ пропорціональны; одну изъ нихъ обозначимъ $m_1 q_1$, другую—$m_2 q_2$. Здѣсь m_1 и m_2 нѣкоторые коэффиціенты, зависящіе отъ величины, заряда и скорости электрона. Если электрону, масса коего (въ обыкновенномъ смыслѣ этого слова) m_0, хотимъ сообщить опредѣленное движеніе, то мы должны, какъ и въ случаѣ обыкновенной матеріальной точки, приложить къ нему силы $m_0 q_1$ и $m_0 q_2$; кромѣ того надо преодолѣть только-что упомянутыя силы; итакъ по направленію движенія должна дѣйствовать сила $(m_0 + m_1)q_1$, а перпендикулярно къ пути движенія—сила $(m_0 + m_2)q_2$. Иными словами, по отношенію къ тангенціальному ускоренію электронъ какъ бы имѣетъ массу $m_0 + m_1$, а по отношенію къ нормальному ускоренію—массу $m_0 + m_2$. Мы будемъ называть m_0 *истинною* массою, а m_1 и m_2 *кажущимися* или *электромагнитными* массами, наконецъ $m_0 + m_1$ и $m_0 + m_2$ *эффективными* массами; можно было бы m_1 называть *продольною*, а m_2 *поперечною* электромагнитною массою. Если дѣло идетъ объ ускореніи въ направленіи движенія, то легко еще иначе убѣдиться въ правѣ говорить объ электромагнитной массѣ. Если хотимъ электрону сообщить опредѣленную скорость, то надо создать и соотвѣтствующее этой скорости поле; но такъ какъ поле содержитъ энергію, то для этого требуется затратить работу, какъ будто масса электрона нѣсколько больше дѣйствительной.

Возникаетъ важный вопросъ: изъ опыта мы опредѣляемъ отношеніе эффективной массы къ заряду; какая же часть этой массы приходится на дѣйствительную и какая на электромагнитную. Возможность разобраться здѣсь основывается на томъ, что электромагнитныя массы m_1 и m_2 непостоянны, но зависятъ отъ скорости электрона; если сферическій электронъ радіуса R и заряда ε движется съ малою скоростью, то какъ m_1, такъ и m_2 имѣютъ значеніе $2\varepsilon^2/3R$; для большихъ скоростей значенія m_1 и m_2 возростаютъ и притомъ столь быстро, что становятся безконечно большими, когда скорость сравнивается со скоростью свѣта.

8. *Зависимость m отъ v.* Абрагамъ вывелъ формулы для m_1 и m_2. Кауфманъ произвелъ рядъ опытовъ, изъ коихъ оказалось, что въ предѣлахъ ошибокъ наблюденій поперечная эффективная масса, $m_0 + m_2$, измѣняется со скоростью настолько, насколько, судя по формуламъ, должна бы измѣняться электромагнитная масса m_2. Отсюда можно заключить, что у отрицательныхъ электроновъ нѣтъ «дѣйствительной» массы, что они обладаютъ одною только электромагнитною массою, что это одни заряды безъ матеріи; такимъ образомъ въ случаѣ движущагося отрицательнаго электрона мы имѣемъ дѣло только съ энергіею электромагнитнаго поля.

Способъ Кауфмана состоитъ въ томъ, чтобы измѣрить электрическое и магнитное отклоненіе β-лучей; но послѣдніе обладаютъ очень различными скоростями, такъ что изъ опытовъ съ однимъ и тѣмъ же препаратомъ радія значеніе ε/m можно найти для всякой скорости. Для опредѣленія соотвѣтствующихъ электрическаго и магнитнаго оклоненій, относящихся къ одной группѣ электроновъ, Кауфманъ вызывалъ одновременно эти оба отклоненія. Пусть по оси y идутъ β-лучи; въ пл. xz расположена фотографическая пластинка; какъ электрическое, такъ и магнитное поле направлено параллельно оси x справа налѣво; электрическое поле отклоняетъ лучи горизонтально, именно вправо, въ виду отрицательныхъ зарядовъ ихъ частичекъ, а магнитное поле ихъ отклоняетъ вверхъ. Неотклоненные лучи встрѣчали бы пластинку въ точкѣ O, а теперь они встрѣчаютъ ее въ точкѣ P, координаты коей опредѣляютъ и то, и другое отклоненіе. Понятно, что какъ электрическое отклоненіе OB, такъ и магнитное отклоненіе OA соотвѣтствуютъ одной скорости, отъ которой они зависятъ; если имѣются одновременно лучи различныхъ скоростей, то точки, въ которыя попадаютъ лучи, располагаются на непрерывной кривой OPQ; эта кривая при ея продолженіи проходитъ чрезъ точку O, ибо при скорости свѣта оба отклоненія исчезаютъ.



Фиг. 5.

Измѣривъ координаты различныхъ точекъ кривой OPQ, можно вычислить ε/m для различныхъ скоростей v. Оказалось, что съ возростаніемъ скорости и отношеніе ε/m уменьшается.

Такъ какъ зарядъ ε мы считаемъ постояннымъ, то слѣдуетъ заключить, что m увеличивается вмѣстѣ съ v; это увеличеніе, какъ слѣдуетъ изъ формулы Абрагама, приходится на электромагнитную массу m_2.

Слѣдующая табличка даетъ понятіе объ этомъ измѣненіи эффективной массы; въ первомъ столбцѣ показаны скорости, выраженныя въ доляхъ скорости свѣта.

Таблица II.

v/V	ε/m
0·79	1·21
0·83	1·13
0·86	1·07
0·91	0·93
0·94	0·83

$\times 10^7$.

Въ табл. I данное для β-лучей значеніе ε/m есть предѣльное значеніе, къ которому это отношеніе стремится при непрерывномъ уменьшеніи скорости.

Мы не будемъ входить въ выкладки Кауфмана, но изслѣдуемъ ближе кривую. Изъ формулъ (1) и (3) слѣдуетъ, что кривизна пути въ началѣ движенія электроновъ въ электрическомъ полѣ

$$\frac{1}{r} = \frac{\varepsilon}{m} \frac{f}{v^2},$$

а въ магнитномъ полѣ

$$\frac{1}{r} = \frac{\varepsilon}{m} \frac{H}{v}.$$

Въ первомъ приближеніи можно принять, что первая кривизна пропорціональна $OB = x$, а вторая пропорціональна $OA = z$; слѣдовательно

$$x = a \frac{\varepsilon}{m} \frac{f}{v^2}, \quad z = b \frac{\varepsilon}{m} \frac{H}{v}.$$

Если для v сюда подставлять различныя значенія, то получимъ координаты различныхъ точекъ кривой. Форма этой

послѣдней зависитъ отъ того, какъ измѣняется m въ зависимости отъ v. Если бы m оставалось постояннымъ, то x было бы пропорціонально второй степени z; тогда кривыя имѣли бы форму параболъ, какъ это показано у насъ пунктирными линіями. Изъ опытовъ Кауфмана слѣдуетъ, что кривыя отклоняются отъ параболъ, какъ показано на чертежѣ. По предыдущему

$$x = \frac{a}{b^2} \frac{m}{\varepsilon} \frac{f}{H^2} . z^2;$$

здѣсь m не постоянно: меньшему v и потому большему z соотвѣтствуетъ меньшее m; слѣд. x возростаетъ медленнѣе, чѣмъ z^2.

Замѣтимъ, что на фотографической пластинкѣ кривая получалась короче одного центиметра, сама пластинка ставилась въ разстояніи нѣскольких центиметровъ отъ источника лучей—миллиграмма бромистаго радія. Принимая все это во вниманіе, нельзя не сказать, что тутъ съ малыми (я разумѣю малыми по размѣрамъ) средствами достигнуты очень большіе результаты.

(Окончаніе слѣдуетъ).

Физическій кабинетъ.

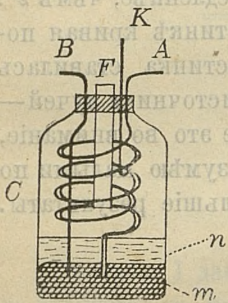
1. *Звуковая тѣнь.* Между чувствительнымъ пламенэмъ и источникомъ звука ставится перегородка—кусокъ картона. Въ качествѣ источника звука взять нанизанныя на стержень желѣзныя кольца, сначала въ 24 mm. діаметра, затѣмъ въ 12 mm. и наконецъ въ 6 mm. При сотрясеніи кольца издаютъ звукъ, длина волны котораго въ первомъ случаѣ около 50 mm., во второмъ—25 mm., въ третьемъ—12 mm. Первыя кольца, заставляютъ сокращаться чувствительное пламя, вторыя меньше, а третьи вовсе его не сокращаютъ. Описанный опытъ не только демонстрируетъ звуковую тѣнь, но и показываетъ, что эта тѣнь образуется тѣмъ отчетливѣе, чѣмъ короче длина звуковой волны.

Michelson, Light waves.

2. *Диффракція звука.* Въ разстояніи 300 cm. отъ чувствительнаго пламени ставится птицеловная дудка; между ними

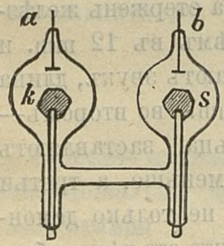
помѣщается стеклянный дискъ въ 30 cm. діаметра. Если центръ диска не находится на прямой, соединяющей источникъ звука съ чувствительнымъ пламенемъ, то послѣднее остается совершенно спокойнымъ (находится въ тѣни); если же центръ диска помѣщается на этой прямой, то пламя также сокращается, какъ если бы экрана и не было. (Аналогія съ пуассоновскимъ случаемъ диффракціи свѣта). *Іѣ.*

3. *Періодическій прерыватель.* Мѣдная проволока *A* (фиг. 1), свернутая въ спираль, верхнимъ концомъ укрѣплена въ пробку банки *C*, а нижнимъ концомъ опускается въ ртуть *m*, налитую на дно банки и покрытую слоемъ непроводящей жидкости, *n*; въ эту же ртуть погруженъ нижній конецъ прямой проволоки *B*. Если такой приборъ включить въ цѣпь, то подъ дѣйствіемъ тока обороты спирали взаимно притягиваются, сама спираль укорачивается, нижній ея конецъ выходитъ изъ ртути и цѣпь размыкается; затѣмъ вслѣдствіе своего вѣса и упругости спираль принимаетъ первоначальную форму и длину, опять замыкаетъ цѣпь и т. д. Для увеличенія амплитуды качаній спирали, внутрь ея вставляютъ стержень мягкаго желѣза *F*; для измѣненія періода качаній спирали крючкомъ *K* надо задержать часть оборотовъ и сдѣлать ихъ неподвижными.



Фиг. 1.

4. *Колебательный и непрерывный разрядъ.* Въ опытѣ, описанномъ въ *Физическ. Обозрѣніи*, 2 т. (1901), стр. 62, Винкельманъ предлагаетъ гольцевскую трубку съ воронками замѣнить двойною круксовскою трубкою съ луминесцирующими кристаллами *k* и *s* (фиг. 2), надъ которыми помѣщаются электроды *a* и *b*. При непрерывномъ разрядѣ катодомъ служитъ одинъ изъ электродовъ и луминесцируетъ только тотъ кристаллъ, который находится подъ нимъ. При колебательномъ разрядѣ каждый изъ электродовъ бываетъ поперемѣнно то анодомъ, то катодомъ, и потому луменисцируютъ оба кристалла.

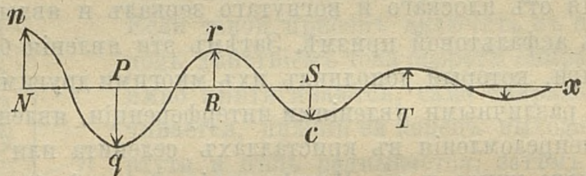


Фиг. 2.

слѣдовательно длина волны отъ 9 m. до 1 m. Вычисливъ періодъ своего вибратора и умноживъ число колебаній на длину волны, мы получимъ скорость распространенія электромагнитныхъ волнъ, которая по опытамъ Герца приблизительно равна $3 . 10^{10}$ cm., т. е. одинакова со скоростью свѣта. Кромѣ этого сходства, колебанія электрической и магнитной силъ происходятъ перпендикулярно къ направленію распространенія; слѣдовательно въ электромагнитной волнѣ, какъ и въ свѣтовой, мы имѣемъ поперечныя колебанія. Герцъ показалъ, что кромѣ указаннаго сходства электромагнитная волна обладаетъ всѣми свойствами волны свѣтовой. Ему удалось воспроизвести явленія отраженія отъ плоскаго и вогнутаго зеркалъ и явленіе преломленія въ асфальтовой призмѣ. Затѣмъ эти явленія были повторены Риги, который дополнилъ ихъ многими другими опытами, какъ-то, различными явленіями интерференціи, явленіемъ двойного лучепреломленія въ кристаллахъ селенита или кристаллизированнаго гипса и пр. Изслѣдованія въ этой области указали на полное тождество электромагнитной волны съ свѣтовою, только первая гораздо длиннѣе второй. Съ точки зрѣнія электромагнитной теоріи, свѣтовыя волны вызываютъ въ окружающемъ эѳирѣ не измѣненіе въ плотности или упругости, а электрическія и магнитныя силы, измѣняющіяся съ періодомъ свѣтовой волны.

Не останавливаясь на оптикѣ электрическихъ колебаній, что повело бы насъ за предѣлы этой статьи, ознакомимся подробнѣе съ явленіемъ электрическаго резонанса. Какъ показали изслѣдованія Герца, резонаторъ лучше всего отзывается на колебанія вибратора въ томъ случаѣ, когда періоды обоихъ приборовъ равны. Однако Саразенъ и Деларивъ, повторяя опыты Герца, нашли, что это условіе почти не обязательно. Въ ихъ опытахъ одинъ и тотъ же вибраторъ возбуждалъ электрическія колебанія въ резонаторахъ весьма различнаго періода. Это явленіе, названное Саразеномъ и Деларивомъ многократнымъ резонансомъ, было объяснено ими тѣмъ, что вибраторъ излучаетъ не одно колебаніе опредѣленнаго періода, а цѣлую серію колебаній всевозможныхъ періодовъ, чего однако нѣтъ, какъ это показали позднѣйшія изслѣдованія. Правильное объясненіе этого явленія было дано въ работахъ Біеркнеса, который показалъ, что оно зависитъ отъ разности зату-

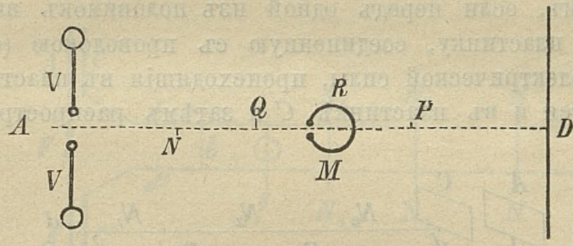
ханій вибратора и резонатора. Разрядъ вибратора состоитъ изъ серіи сильно затухающихъ колебаній. Амплитуда каждаго слѣдующаго колебанія значительно менѣе амплитуды предыдущаго, такъ что вся серія содержитъ лишь три—четыре простыхъ колебаній. Графически это колебаніе изобразится, какъ показано на фиг. 6. Когда такая волна достигаетъ резонатора, то сильное дѣйствіе производитъ на него только первое колебаніе NP, дѣйствіе же остальныхъ PR, RS и пр., вслѣдствіе ихъ малости, ничтожно. Такая волна производитъ дѣйствіе подобное простому удару, а не ряду толчковъ, слѣдующихъ одинъ за другимъ чрезъ опредѣленные промежутки времени. Получивъ единичный



Фиг. 6.

импульсъ, резонаторъ затѣмъ продолжаетъ колебаться со своимъ собственнымъ періодомъ, давая цѣлый рядъ слабо затухающихъ колебаній, если собственное затуханіе резонатора не велико, что имѣетъ мѣсто въ дѣйствительности для большинства резонаторовъ. Если, поэтому, такими резонаторами будемъ опредѣлять длину стоячей волны вибратора, то различные резонаторы дадутъ намъ различную длину волны, такъ что опредѣленная такимъ образомъ длина волны принадлежитъ самому резонатору. Нетрудно понять отчего это такъ происходитъ, если будемъ разсматривать всю серію колебаній вибратора, какъ единичный импульсъ. Пусть VV есть вибраторъ (фиг. 7), D поверхность, отражающая волны и R резонаторъ. Первый импульсъ резонаторъ получаетъ отъ вибратора, когда волна отъ A распространяется къ D, второй импульсъ отъ отраженной волны, идущей отъ D къ A и имѣющей сравнительно съ прямою волною прямо противоположный знакъ. Вслѣдствіе этого, если резонаторъ получаетъ второй импульсъ, прямо противоположнаго направленія, въ то время, когда онъ сдѣлалъ одно полное колебаніе, то этимъ его дальнѣйшія колебанія прекращаются, такъ какъ дѣйствіе второго импульса уничтожаетъ

дѣйствіе перваго. Въ этомъ случаѣ искръ въ резонаторѣ нѣтъ, и слѣдовательно въ этой точкѣ M мы имѣемъ узелъ электрической силы. Для этого резонаторъ долженъ находиться на такомъ разстояніи MD отъ поверхности D, которое электрическія колебанія въ обоихъ направленіяхъ, т. е. $MD + DM$ проходятъ во время, равное періоду резонатора. Отсюда разстояніе $MD + DM$ есть длина волны λ резонатора, а MD ея половина $\lambda/2$. Второй узелъ будетъ находиться на разстояніи $ND = 2MD = \lambda$ отъ отражающей поверхности и т. д. Поэтому разстояніе между узлами представляетъ половину длины волны не вибратора, а резонатора, такъ какъ оно зависитъ исключительно отъ періода послѣдняго. Если же резонаторъ будетъ находиться въ точкѣ P или въ точкѣ Q, такъ что разстояніе $PD + DP$ или $QD + DQ$

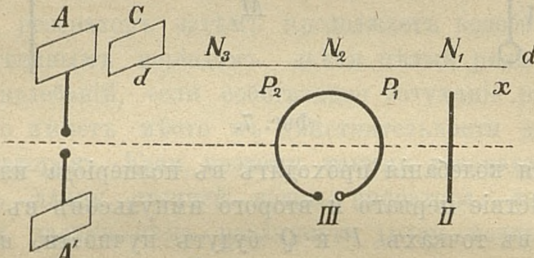


Фиг. 7.

электрическія колебанія проходятъ въ полперіода или въ полтора, то дѣйствіе перваго и второго импульсовъ въ резонаторѣ сложатся и въ точкахъ P и Q будутъ пучности, но и здѣсь разстояніе между пучностями P и Q будетъ зависѣть только отъ періода резонатора. Однако явленіе будетъ происходить какъ разъ наоборотъ, если затуханіе вибратора будетъ менѣе, чѣмъ затуханіе резонатора. Въ этомъ случаѣ дѣйствіе вибратора можно будетъ сравнить не съ единичнымъ импульсомъ, а съ цѣлымъ рядомъ толчковъ, слѣдующихъ одинъ за другимъ чрезъ промежутки времени, равные періоду вибратора. Такое періодическое воздѣйствіе возбуждаетъ въ резонаторѣ электрическія колебанія съ періодомъ вибратора. Поэтому разстояніе между узлами, опредѣленное такими резонаторами весьма различнаго періода, будетъ всегда одно и то же—равное половинѣ длины волны самого вибратора. Если и затуханіе вибратора и затуханіе резонатора очень незначительны, то для возбужденія электрическихъ коле-

баній въ резонаторѣ необходимо, чтобы періоды обоихъ приборовъ были равны или почти равны, какъ это имѣетъ мѣсто и въ случаѣ звуковыхъ волнъ для резонанса двухъ камертоновъ; въ противномъ случаѣ возбужденія не происходитъ. Эта зависимость электрическихъ колебаній отъ затуханія имѣетъ большое значеніе, такъ какъ даетъ возможность, какъ увидимъ впослѣдствіи, устроить согласованные пріемные и передаточные апараты безпроволочной телеграфіи.

Напряженіе электрическихъ колебаній быстро убываетъ съ разстояніемъ отъ вибратора, если онъ не стоитъ въ фокальной линіи цилиндрическаго зеркала, такъ какъ въ противномъ случаѣ электрическія колебанія распространяются вокругъ вибратора во всѣ стороны. Болѣе сильныя электрическія колебанія могутъ быть индуцируемы въ проволокахъ, какъ это было сдѣлано Герцомъ, если передъ одной изъ половинокъ вибратора помѣстимъ пластинку, соединенную съ проволокою (фиг. 8). Колебанія электрической силы, происходящія въ пластинкѣ A, индуцируются и въ пластинкѣ C и затѣмъ распространяются

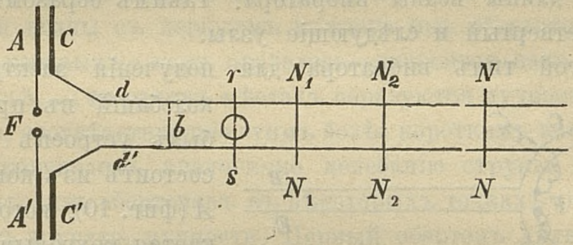


Фиг. 8.

по проволокѣ dd. Электромагнитная волна, отразившись отъ конца проволоки, даетъ стоячія электромагнитныя волны, вполнѣ подобныя волнамъ, образующимся въ воздухѣ. Помѣстивъ резонаторъ въ положеніе (II), какъ это дѣлается для изслѣдованія электрической силы, найдемъ, что пучности электрической силы находятся у конца проволоки и въ точкахъ P_1, P_2...., а узлы между ними въ точкахъ N_1, N_2.... Помѣстивъ же резонаторъ въ положеніе (III) и подвергнувъ его только дѣйствію магнитной силы, найдемъ, что магнитные узлы находятся въ точкахъ P_1, P_2...., а пучности въ точкахъ N_1, N_2.... Такимъ обра-

зомъ при электрическихъ колебаніяхъ прямолинейнаго разомкнутаго проводника на его концѣ образуется электрическая пучность и магнитный узелъ.

Удобное расположеніе для возбужденія электрическихъ колебаній въ проволокахъ было указано Лехеромъ, вибраторъ котораго состоитъ изъ двухъ пластинокъ, соединенныхъ искровымъ промежуткомъ. Противъ этихъ пластинокъ A и A' (фиг. 9) на близкомъ разстояніи находятся пластинки C и C', отъ которыхъ идутъ двѣ параллельныхъ проволоки d и d'. На нѣкоторомъ разстояніи отъ начала проволокъ находится мостикъ b—поперечная проволока, лежащая на проволокахъ dd', или къ нимъ припаянная. Система $ACbC'A'FA$ состоитъ изъ двухъ конденсаторовъ AC и $A'C'$, соединенныхъ искровымъ промежуткомъ F. Вся система заряжается отъ индуктора, соединеннаго съ

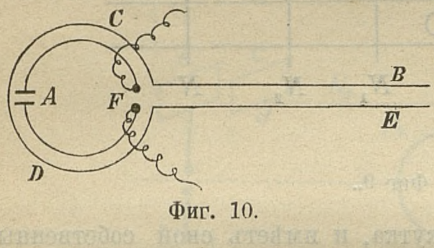


Фиг 9..

полюсами искрового промежутка, и имѣетъ свой собственный періодъ, зависящій отъ емкости конденсаторовъ и самоиндукціи проволокъ, соединяющихъ мостикъ съ конденсаторами. Электрическія колебанія, получающіяся при разрядѣ всей системы чрезъ искровой промежутокъ, распространяются далѣе по проволокамъ dd. Если проволоки достаточно длинны, то—вслѣдствіе излученія электромагнитной энергіи въ пространство, перехода ея въ джаулевскую теплоту внутри проволокъ и пр.—волны распространяются по проволокамъ лишь на нѣкоторое разстояніе. Если же проволоки оканчиваются вблизи вибратора, то электрическія колебанія отражаются отъ ихъ концовъ и образуютъ на проволокахъ систему стоячихъ волнъ. Для того, чтобы произошло отраженіе электрическихъ колебаній, достаточно положить въ какомъ-нибудь мѣстѣ проволокъ второй подвижной мостикъ NN. Если разстояніе отъ b до NN не велико, то электрическія

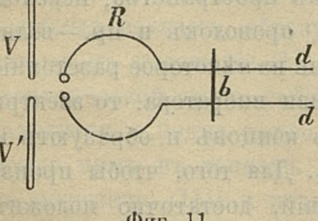
колебанія, отразившіяся отъ NN, вновь отражаются отъ b и т. д., и между мостиками получаются стоячія электрическія колебанія. Если поперекъ проволокъ вблизи мостика b положить стеклянную трубку съ двумя электродами r и s, въ которой воздухъ разряженъ до нѣсколькихъ десятыхъ миллиметра давленія, то, передвигая мостикъ отъ трубки къ концамъ проволокъ, замѣтимъ, что при нѣкоторомъ положеніи мостика N_1N_1 трубка ярко свѣтится; это значитъ, что часть проволокъ отъ b до N_1N_1 находится какъ разъ въ резонансѣ съ вибраторомъ и разность потенціаловъ между электродами трубки максимальная, т. е. она находится въ пучности, а на мостикѣ находится узелъ. Двигая мостикъ далѣе, найдемъ для него второе положеніе N_2N_2, при которомъ трубка опять ярко свѣтится; слѣдовательно въ N_2N_2 находится второй узелъ и разстояніе между узлами равно половинѣ длины волны вибратора. Такимъ образомъ найдемъ третій, четвертый и слѣдующіе узлы.

Другой типъ вибратора для полученія электрическихъ колебаній въ проволокахъ былъ устроенъ Блондло и состоитъ изъ конденсатора A (фиг. 10), который замыкается круговымъ проводникомъ съ искровымъ промежуткомъ F. Электрическія колебанія этого вибратора индуцируютъ въ сплошномъ круговомъ проводникѣ CD, переходящемъ въ параллельныя проволоки B и E.



Фиг. 10.

По аналогіи съ колебаніями звуковыми можно ожидать, что колебанія вибратора не представляются простыми, а сопровождаются рядомъ обертоновъ, какъ наприм. колебанія струны, Изслѣдованія въ этомъ направленіи были произведены Кибицомъ, который изучалъ колебанія прямолинейнаго вибратора. Передъ искровымъ промежуткомъ вибратора VV_1 (фиг. 11) былъ помѣщенъ резонаторъ R, къ одной сторонѣ котораго были присоединены параллельныя проволоки dd, соединявшіяся мостикомъ

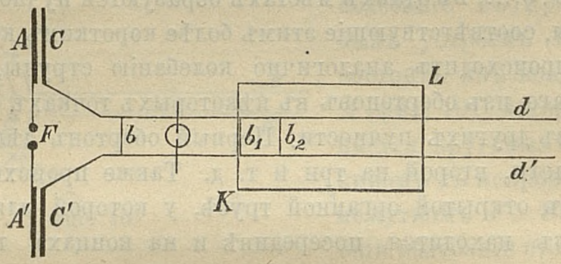


Фиг. 11.

b. Передвигая мостикъ отъ конца проволокъ къ кругу, можемъ достигнуть того, что часть резонатора, отрѣзаннаго мостикомъ, будетъ находиться какъ разъ въ резонансѣ съ вибраторомъ, и тогда искры въ резонаторѣ особенно ярки. Передвигая однако мостикъ еще ближе къ кругу, найдемъ еще нѣсколько положеній, при которыхъ искры въ резонаторѣ особенно ярки, хотя и слабѣе первой. Эти второстепенные максимумы показываютъ, что наряду съ основнымъ колебаніемъ прямолинейный вибраторъ излучаетъ еще рядъ обертоновъ меньшаго напряженія и меньшихъ періодовъ. Такимъ путемъ Кибицъ могъ наблюдать до восьми обертоновъ. Далѣе онъ показалъ, что если, настроивъ резонаторъ на одинъ изъ обертоновъ, передвигать его вдоль вибратора, то яркость искры не остается постоянною, а поперемѣнно то усиливается, то слабѣетъ. Отсюда слѣдуетъ заключить, что въ самомъ вибраторѣ имѣются стоячія электромагнитныя волны съ періодомъ каждаго изъ обертоновъ, числа колебаній которыхъ, какъ оказалось, относятся какъ нечетныя числа 1 : 3 : 5,...; въ однихъ мѣстахъ образуются пучности, въ другихъ узлы, соотвѣтствующіе этимъ болѣе короткимъ колебаніямъ. Явленіе происходитъ аналогично колебанію струны, гдѣ также для каждаго изъ обертоновъ въ нѣкоторыхъ точкахъ образуются узлы, а въ другихъ пучности. Первый обертонъ дѣлитъ струну на двѣ части, второй на три и т. д. Также происходитъ колебаніе и въ открытой органной трубѣ, у которой для основного тона узелъ находится посрединѣ и на концахъ пучности, и разница между органною трубою и вибраторомъ состоитъ въ томъ, что обертоны органной трубы относятся, какъ числа 1 : 2 : 3..., т. е. труба имѣетъ лишніе обертоны. Наибольшее сходство съ вибраторомъ имѣютъ въ этомъ отношеніи двѣ закрытыхъ органныхъ трубы, обращенныхъ другъ къ другу своими закрытыми концами. Обертоны закрытой трубы относятся также, только какъ нечетныя числа 1 : 3 : 5...; и узелъ будетъ находиться всегда посрединѣ, гдѣ находятся ихъ закрытые концы. Сходство между органною трубою и вибраторомъ увеличивается еще тѣмъ, что если длина трубы невелика по отношенію къ ея поперечному сѣченію, то она даетъ лишь немного обертоновъ и очень слабо выраженныхъ. То же имѣетъ мѣсто и для колебаній вибратора, если послѣдній состоитъ не изъ двухъ длинныхъ проволокъ, какъ въ изслѣдованіяхъ Кибица, а изъ двухъ шаровъ,

какъ вибраторъ Риги, или изъ двухъ короткихъ цилиндровъ. какъ вибраторъ П. Лебедева, при помощи котораго имъ были получены наиболѣе короткія электромагнитныя волны до 6 mm. длиною. Въ этомъ случаѣ кромѣ основного тона могутъ быть замѣтны лишь очень слабые и при томъ негармоническіе тоны.

Такъ какъ электромагнитныя волны ничѣмъ не отличаются отъ волнъ свѣтовыхъ, то въ различныхъ непроводящихъ средахъ онѣ должны распространяться съ различною скоростью и слѣдовательно преломляться въ нихъ по законамъ свѣтовыхъ волнъ, а въ нѣкоторыхъ средахъ подвергаться абсорбціи. Электрическія колебанія, распространяющіяся по проволокамъ, даютъ удобный методъ для опредѣленія показателя преломленія электромагнитныхъ волнъ въ діэлектрикахъ. Опредѣленіе показателя преломленія жидкостей можетъ быть выполнено по способу Кона, который пользовался для этого системою Лехера. Параллельныя проволоки вибратора вступаютъ при своемъ продолженіи въ сосудъ KL (фиг. 12), который можетъ



Фиг. 12.

быть наполненъ жидкостью. Положивъ на проволоки мостикъ b_1, передвигаютъ его до тѣхъ поръ, пока трубка Гейслера G не обнаруживаетъ максимальнаго свѣченія. Въ этомъ случаѣ часть проволокъ между мостиками b и b_1 находится въ резонансѣ съ вибраторомъ, и длина bb_1 (если не принимать во вниманіе нѣкоторыхъ второстепенныхъ поправокъ) равна $\lambda_1/2$—половинѣ длины нашей волны въ воздухѣ. Затѣмъ устранивъ мостикъ b_1, приводятъ начало сосуда какъ разъ на его мѣсто и кладутъ мостикъ въ слѣдующій узелъ b_2 (тогда трубка тоже принимаетъ максимальное свѣченіе); понятно, что разстояніе b_1b_2 есть половина длины волны въ изслѣдуемой жидкости, $\lambda_2/2$, Отношеніе

$$n = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$